

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

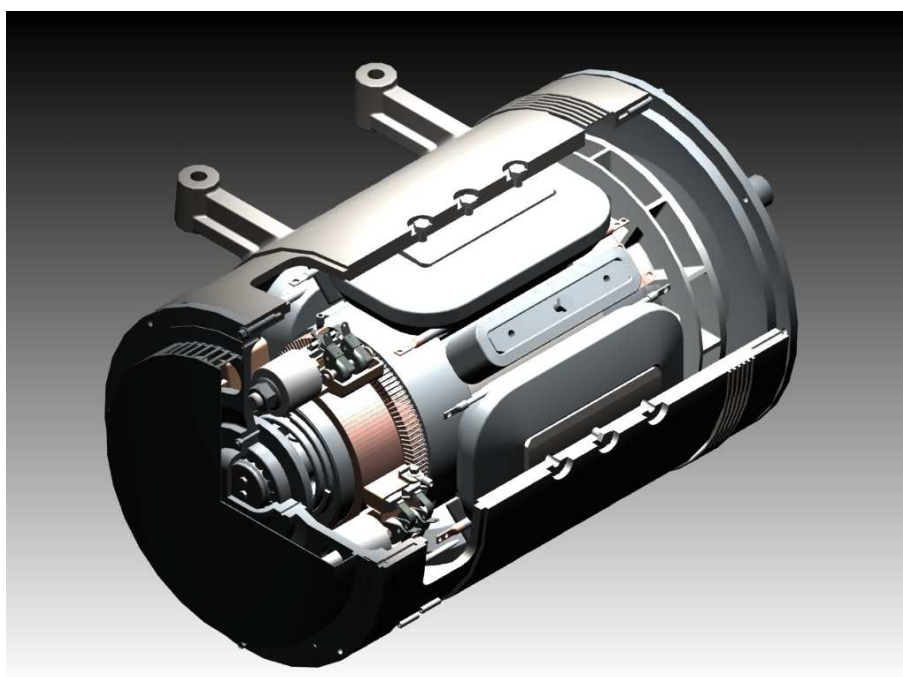
В.Х. ДАЛЕКА, О.В. КУЛЬБАШНИЙ,  
Ю.С. КАЛИНИЧЕНКО

## **Методичні вказівки**

до конструкторської частини курсової роботи  
з дисципліни

**"СПЕЦІАЛЬНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ"**

(для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання за напрямом  
0922 – «Електромеханіка»")



Харків – ХНАМГ – 2008

Методичні вказівки до конструкторської частини курсової роботи з дисциплін "Спеціальні електричні машини" (для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання за напрямом 0922 – «Електромеханіка») / Укл.: Далека В.Х., Кульбашний О.В., Калиниченко Ю.С. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 67 с.

Укладачі: В.Х. Далека, О.В. Кульбашний, Ю.С. Калініченко

Рецензент: проф. В.І. Лусь

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту,  
протокол № 13 від 27.05.2008 р.

## ЗМІСТ

Стор.

Вступ.....	4
1. Огляд сучасного програмного забезпечення CAD/CAM систем.....	5
2. Точне креслення у графічному редакторі "Компас-графік" .....	6
3. Загальні принципи моделювання в „КОМПАС-3D” .....	9
4. Конструювання електричних машин постійного струму за допомогою графічних пакетів системи CAD/CAM .....	12
4.1 Проектування осердя якоря.....	13
4.2 Проектування колектора.....	22
4.3 Проектування обмотки якоря.....	31
4.4 Вибір вентилятора .....	39
4.5 Проектування головних полюсів .....	40
4.5.1 Осердя полюсів .....	40
4.5.2 Котушки головних полюсів .....	41
4.6 Проектування додаткових полюсів .....	46
4.6.1 Осердя додаткових полюсів.....	46
4.6.2 Котушки додаткових полюсів .....	47
4.7 Станина.....	49
4.8 Охолодження тягового двигуна .....	51
4.9 Складання магнітної системи (індуктора) .....	53
4.10 Щіткотримачі .....	54
4.11 Підшипники якоря.....	55
4.12 Загальне складання тягових електричних двигунів.....	58
4.13 Створення фотореалістичного зображення електричних машин.....	61
5. Оптимізація конструкцій та характеристик електричних машин.....	64
Список літератури .....	66

## Вступ

Сучасна організація виробництва на основі новітніх досягнень науково-технічного прогресу – все це вимагає вирішення проблем конкурентноздатності продукції, забезпечення високого рівня ресурсозбереження та глибоких і різнобічних знань, високої виробничої кваліфікації працівників. Творчий підхід до створення і читання технічної документації повинен супроводжуватися аналізом технологічності форми виробів, пошуком оптимальної форми деталі й найкращого варіанта послідовності всіх дій, необхідних для перетворення заготовки в готову деталь. У більш повній мірі цього можна досягти, ґрунтуючись на знаннях, набутих при створенні конструкторської і технологічної документації в режимі діалогу з персональним комп'ютером.

Сучасний рівень програмних і технічних засобів електронної обчислювальної техніки дозволяє перейти від традиційних ручних методів конструювання і проектування до нових інформаційних технологій з використанням ПК, а також створювати системи автоматизованої розробки й виконання конструкторської документації, що задовольняють вимогам стандартів ЄСКД як за якістю виконання документів, так і дотриманням вимог стандартів.

Це дозволяє студентам працювати із системами автоматизованого проектування не тільки в рамках аудиторних годин, але й у себе дома на особистих ПК. У цьому разі можна говорити не про поверхове знайомство з предметом, а про його реальне освоєння. У цих вказівках продемонстровані переваги комп'ютерного проектування для всіх категорій потенційних користувачів: інженерів, студентів, викладачів – всіх тих, хто так чи інакше пов'язаний з підготовкою конструкторської документації тобто проектуванням, модернізацією, раціональним використанням матеріальних, енергетичних, трудових і фінансових ресурсів. Освоєння комп'ютерного проектування дає змогу підвищити продуктивність і якість своєї праці за допомогою обчислювальної техніки й спеціального програмного забезпечення.

# 1. Огляд сучасного програмного забезпечення CAD/CAM систем

Основними тенденціями в сучасному машинобудуванні є поліпшення робочих параметрів машин і конструкцій, а також зниження їх матеріалоемності й енергоемності при виробництві та експлуатації. При цьому істотне значення мають строки розробок, їхня якість і вартість. Щоб відповідати вимогам сьогодення, процес автоматизації проектування повинен розглядатися в комплексі як система взаємозалежних конструкторських, розрахункових і технологічних програмних інструментів на всіх стадіях проектування.

Прикладне програмне забезпечення – сучасні CAD/CAM системи, які залежно від складності розв'язуваних завдань можна розділити на дві групи: спеціалізовані й універсальні. Спеціалізовані програмні комплекси можуть використовуватися як автономно, так і включатися до складу універсальних систем. За функціональною ознакою вони класифікуються в такий спосіб:

- програми для графічного (CAD) ядра системи (*Design Base*, покладеного в основу функціонування універсальної системи *Helix* і ряду спеціалізованих систем, які розроблені й використовуються у Японії; *Parasolid* – для систем *Unigraphics*, *Solid Works*; *ACIS* – для систем *ADEM*, *AutoCAD*, *Solid Edge*) [1];
- системи для функціонального моделювання CAE, які реалізують метод кінцевих елементів, у свою чергу, також діляться на системи загального застосування – *NASTRAN*, *ANSYS*, *COSMOC/M* та ін., і проблемно-орієнтовані системи – *ADAMS*, *MARS* та ін.;

Універсальні системи призначені для комплексної автоматизації процесів проектування, аналізу й виробництва продукції машинобудування. Залежно від функціональних можливостей розрізняють системи низького рівня (*AutoCAD*, *TopCAD* та ін.), середнього рівня (*Cimatron*, *Pro/JUNIOR* та ін.) і повномасштабні (*UNIGRAPHICS*, *Pro/ENGINEER* та ін.) [1].

## 2. Точне креслення у графічному редакторі "Компас-графік"

У діалозі із "Компас-графік" можуть бути створені креслення й схеми з використанням таких графічних елементів, як точка, відрізок, коло, а також окремих фрагментів раніше створених креслень, графічних зображень стандартних кріпильних деталей, типових й уніфікованих конструкцій, їхніх частин. При цьому можуть бути сформовані бібліотеки групових креслень деталей, зображення яких задані параметрично. Міняючи значення геометричного параметра, можна змінити форму й розміри моделі деталі, забезпечивши тим самим багатоваріантність її зображення.

"Компас-графік" – це програма для операційної системи Windows, що при активізації (запуску) також оформлена у вигляді вікна. Це вікно має ті ж стандартні елементи керування, що й вікна у Windows (рис. 1).

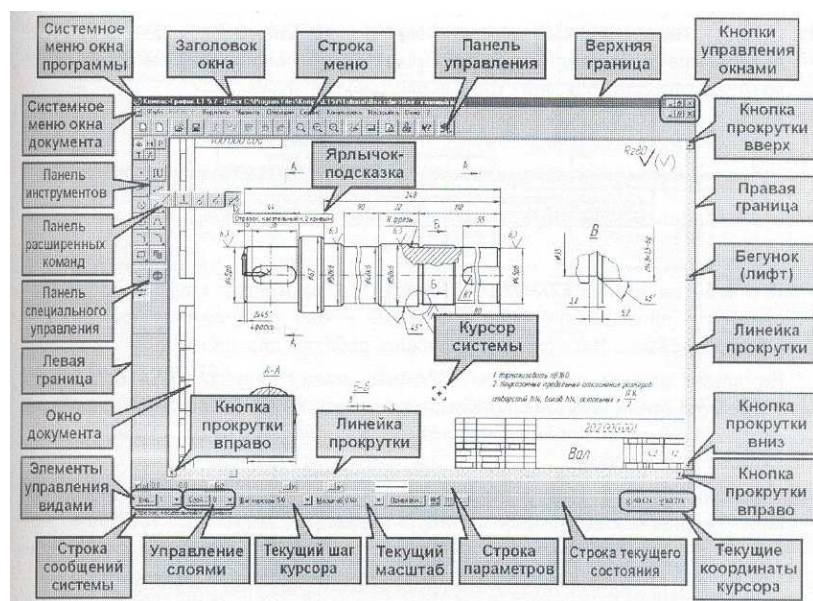


Рис. 1 – Основні елементи інтерфейсу „Компас-графік”

Почати роботу із системою можна одразу після запуску, але при першому сеансі бажано настроїти її. Команди викликаються зі сторінок *Головного меню*, контекстного меню або за допомогою кнопок на *Інструментальних панелях*. При роботі з документом будь-якого типу на екрані відображаються *Головне меню* й кілька панелей інструментів: *Стандартна*, *Вид*, *Поточний стан*, *Компактна*. Зміст меню і панелей залежить від типу активного документа.

Команди, що керують відображенням інструментальних панелей, перебувають у меню *Вид - Панелі інструментів*. За допомогою налаштування можна привести екран до вигляду, що відповідає характеру розв'язуваних завдань й індивідуальних переваг користувача. Вибравши команду *Налаштування інтерфейсу* в меню *Сервіс*, ви можете виконувати наступні дії: переміщувати, відображати й приховувати існуючі, а також створювати нові панелі інструментів; додавати й видаляти команди з панелей інструментів; змінювати розмір і вид кнопок на панелях інструментів; включати відображення підказок; включати й виключати відображення строки стану; вибирати мову діалогу.

Для введення параметрів і задання властивостей об'єктів при їхньому створенні й редагуванні служить *Панель властивостей*. У *Рядку повідомлень* (якщо його показ не відключений при налаштуванні системи) відображаються підказки по поточній дії або опис обраної команди. Виклик *Довідки* по поточній дії або активному елементу інтерфейсу робиться натисканням клавіші <F1>, виклик інших типів *Довідки* – через сторінку меню *Довідка*.

При роботі з *Компас-графік* основним інструментом є *Курсор* – графічний елемент, який можна пересувати на екрані за допомогою маніпулятора „мишка”. Залежно від того, яка дія виконується в системі, змінюється зовнішній вигляд курсору (стрілка, перехрестя, знак питання зі стрілкою і т.п.). З його допомогою можна вибирати команди з *Рядку меню*, натискати кнопки на *Панелі керування* й *Інструментальній панелі*, активізувати поля в *Рядку параметрів*.

На основі точної геометрії графічний редактор дає змогу операторові скористатися засобами напівавтоматичного проставляння розмірів. При цьому система визначає параметри елементів (координати точок, довжини, кутів) і на їхній основі сама обчислює значення розмірів. Іншими словами, якщо ви хочете, щоб при проставлянні діаметра отвору система поставила значення 20 мм, діаметр відповідного кола повинен бути саме 20 мм – ні більше, ні менше. Якщо обчислене значення розміру відрізняється від очікуваного, наприклад 19,95 мм, це розцінюється системою як помилка.

Саме точність комп'ютерних креслень дає змогу передавати геометрію деталей (наприклад, контур вала або профіль кулачка) безпосередньо в технологічні системи, забезпечувати наскрізні технології проектування і виготовлення. На основі отриманих даних такі системи генерують керуючі програми для верстатів з ЧПК (числовим програмним керуванням).

Багато машинобудівних деталей часто мають стандартні елементи: проточки, шпонки й шпонкові пази, гладкі й різьбові отвори і т.п. Такі елементи можуть бути досить складними й трудомісткими для креслення, наприклад болти, гвинти, гайки та інші деталі кріплення, підшипники, пружини й т.п. Велика кількість таких елементів зберігається у прикладних бібліотеках *"Компас-графік"* і ви можете вивантажити з бібліотеки готовий елемент у потрібну точку на кресленні.

Якщо у кресленнях є однакові або схожі елементи, потрібно, накресливши їх один раз, оформити їх як фрагменти й зберігати у спеціальних папках на жорсткому диску ПК, а при необхідності вставляти в поточний документ. Поступово накопичуючи ці типові елементи, користувач формує свої власні бібліотеки. Ще більш зручним засобом зберігання типових користувальницьких елементів є їхня організація у вигляді бібліотек фрагментів. Використання таких бібліотек дозволяє створювати ієрархічні структури типових елементів і здійснювати їхнє централізоване зберігання і зручний доступ до них.

Не можна забувати про апарат допоміжних побудов. Допоміжні прямі повинні стати вашим постійним інструментом при виконанні креслень. Прив'язки допомагають точно позиціювати курсор щодо характерних точок існуючих елементів, а за допомогою допоміжних побудов можна легко обчислювати положення будь-яких необхідних точок і далі використати їх як об'єкти прив'язок. Саме головне при комп'ютерному кресленні полягає в тому, що полегшуючи виконання більшості рутинних операцій, система надає величезні можливості для творчості, стимулює пошук оптимальних рішень.



### 3. Загальні принципи моделювання в „КОМПАС-3D”

Загальноприйнятим порядком моделювання твердого тіла є послідовне виконання булевих операцій (об'єднання, вирахування і перетинання) над об'ємними елементами (сферами, призмами, циліндрами, конусами, пірамідами й т.п.). У „КОМПАС-3D” для задання форми об'ємних елементів виконується таке переміщення плоскої фігури у просторі, слід від якого визначає форму елемента (наприклад, поворот дуги кола навколо осі утворить сферу або тор, зсув багатокутника – призму і т.п.). Плоска фігура, на основі якої утвориться тіло, називається *ескізом*, а формотворне переміщення ескізу – *операцією*.

Ескіз може розташовуватися в одній з ортогональних площин координат, на плоскій грані існуючого тіла або в допоміжній площині, положення якої задано користувачем.

Ескіз зображується на площині стандартними засобами креслярсько-графічного редактора "*Компас-графік*". При цьому доступні всі команди побудови й редагування зображення, команди параметризації і сервісні можливості. В ескіз можна перенести зображення з раніше підготовленого в "*Компас-графік*" креслення або фрагмента. Це дозволяє при створенні тривимірної моделі опиратися на існуючу креслярсько-конструкторську документацію.

Складання в „КОМПАС-3D” виконується з компонентів. Компонентами називаються деталі, які входять у складання. Компоненти записують в окремих файлах на жорсткому диску ПК. У складанні зберігають посилання на ці компоненти. Користувач може вказати взаємне розташування компонентів складання, задавши параметричні зв'язки між їхніми гранями, ребрами й вершинами (наприклад, збіг граней двох деталей або співвісність втулки й отвору). Ці параметричні зв'язки називаються *сполученнями*. Розглянемо основні способи проектування:

### *Проектування «знизу вверху»*

Якщо на жорсткому диску існують усі компоненти, з яких повинне виконуватися складання, їх можна вставити в складання, а потім установити необхідні сполучення. Такий спосіб проектування нагадує дії слюсаря-збирача, що послідовно додає у складання деталі й вузли, встановлюючи їхнє взаємне розташування у просторі.

### *Проектування «зверху вниз»*

Якщо компоненти ще не існують, їх можна змодельовати прямо у складанні. При цьому перший компонент (наприклад, деталь) моделюється у звичайному порядку, а при моделюванні наступних компонентів використовують існуючі моделі.

### *Змішаний спосіб проектування*

На практиці найчастіше використовують змішаний спосіб проектування, що об'єднує в собі методи проектування «зверху вниз» й «знизу вверху». У складання вставляють готові моделі компонентів, що визначають її параметри, а також моделі стандартних виробів. Наприклад, при проектуванні редуктора спочатку створюються моделі окремих деталей зубчастих коліс, потім вони вставляються у складання і виконується компоновка редуктора. Інші компоненти (наприклад, корпус, кришки та інші деталі, що оточують колеса й залежать від їхнього розміру й положення) створюються «на місці» (у складанні).

Після запуску „КОМПАС-3D” треба викликати з меню *Файл* команду *Створити - Деталь* (або натисніть кнопку *Нова деталь* на панелі керування). У вікні „КОМПАС-3D” з'явиться вікно деталі з *Деревом побудови* деталі, *Інструментальною панеллю*, *Рядком параметрів* і *Рядком стану*. У вікні деталі показані осі координат. Відразу після створення нової деталі на верхньому рівні *Дерева побудови* деталі з'явиться елемент *Деталь*, яка, у свою чергу, містить базові елементи: початок координат і три ортогональні площини проєкцій.

Створення деталі в „КОМПАС-3D” починається з побудови підстави. Підстава є в будь-якої деталі; вона завжди одна. Далі до підстави додаються (або віддаляються) додаткові обсяги. Як підстава для створення об'ємних тіл вико-

ристовують плоскі зображення, які називаються ескізами. Для створення ескізу, як правило, вибирають одну з існуючих у файлі деталі проекційних площин. Після створення ескізу підстави необхідно викликати команду *Операція видавлювання*, після чого на екрані з'являється діалог, в якому потрібно встановити параметри елемента видавлювання.

Всі значення параметрів при їхньому введенні й редагуванні негайно відображаються на екрані у вигляді фантома елемента видавлювання. Якщо ескіз потрібно видавлювати в одному напрямку, вкажіть цей напрямок – *Пряме* або *Зворотне*. Можна вибрати опцію *Два напрямки*, в цьому випадку видавлювання буде робитися в обидва боки. Після вибору напрямку потрібно задати відстань, на яку буде проводитися видавлювання.

Для приклеювання до деталі елемента видавлювання необхідно викликати команду *Приклеїти видавлюванням*, після чого з'являється на екрані діалог, в якому потрібно встановити параметри елемента видавлювання (відстань і напрямок, параметри тонкої стінки).

Для вирізання з деталі елемента видавлювання викликається команда *Вирізати видавлюванням*, з'являється на екрані діалог, в якому потрібно встановити параметри елемента видавлювання (відстань і напрямок, параметри тонкої стінки).

У рамках двовимірної моделі можливо задавати для розрахунків плоскі фігури, тіла обертання (або сегменти тіл обертання) і тіла видавлювання. При розрахунку характеристик тіл обертання або видавлювання можна вибирати значення щільності матеріалу з довідкової бази. Файл, у якому зберігаються значення щільності, доступний для редагування й може бути змінений користувачем.

#### **4. Конструювання електричних машин постійного струму за допомогою графічних пакетів системи CAD/CAM**

Для проектування тягових електричних двигунів звичайно задають наступні параметри й величини:

1. Тип електрорухомого складу (трамвай, тролейбус, вагон метрополітену), його номінальні дані - потужність, напруга, частота обертання, клас ізоляції, тип збудження.
2. Експлуатаційні вимоги, обумовлені умовами роботи двигуна, до яких можна віднести: максимальну напругу, потужність при максимальній швидкості початку гальмування, систему підвіски ТЕД, а також систему вентиляції.

Розрахунок електричних машин, зокрема тягових електричних двигунів є завданням неоднозначним, тому попередньо задаються рядом величин, які дозволять у першому наближенні намітити варіанти розрахунку ТЕД. При реальному проектуванні розраховують значне число варіантів з різною номінальною частотою обертання, діаметром якоря, розмірами паза і т.п. При цьому прагнуть виконати ТЕД з максимально уніфікованими вузлами й деталями електричних машин. У процесі проектування відпадають ті або інші варіанти, наприклад, на стадії визначення параметрів якоря і розрахунку магнітного ланцюга двигуна. Однак по деяких варіантах треба виконати повний розрахунок. Ці варіанти ретельно аналізують, порівнюють між собою і вибирають найбільш раціональний варіант.

У цих вказівках розглядається застосування „КОМПАС-3D” для створення тривимірних деталей і вузлів спроектованого тягового електродвигуна по готових розрахункових даних (методика розрахунку ТЕД викладена в [6]).

#### 4.1 Проектування осердя якоря

Осердя якоря, яке насаджене на вал, скріплене задньою і передньою на- тискними шайбами. Вал електричної машини є дуже відповідальною деталлю. Від твердості вала й точності обробки залежить рівномірність повітряного зазо- ру по колу між статором і ротором. Міцність вала визначає механічну надій- ність машини в експлуатації. Прямолінійність і міцність вала залежать не тіль- ки від правильного розрахунку й вибору конструктивних розмірів, але й від те- хнологічних процесів обробки вала й збирання насаджених на нього деталей.

Вал якоря виготовляють із вуглецевої, термічно обробленої сталі марки Ст45. Конструкція вала тягового двигуна подана на рис. 2 за допомогою триви- мірної моделі вала якоря, побудованої за допомогою графічного пакета системи CAD/CAM.

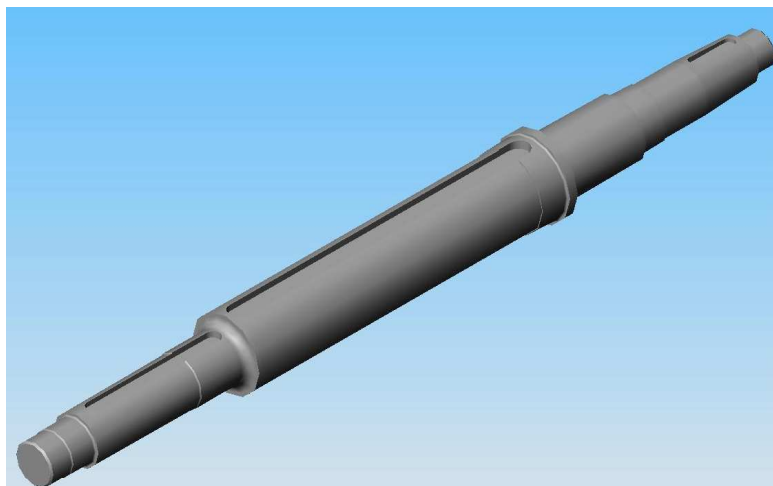


Рис. 2 – 3-D модель вала тягового електричного двигуна

Загальний алгоритм побудови тривимірного зображення деталі, описа- ний у розділі 3, а алгоритм побудови 3-D моделі вала електричного двигуна представлений у табл. 1. За створеною тривимірною моделлю деталі „КОМПАС-3D” виконує креслення деталі вала, на якому необхідно проставити розміри, знаки шорсткості поверхні обробки й позначення посадочних повер- хонь.

Таблиця 1 – Алгоритм побудови тривимірної моделі вала

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Відкрити новий документ</li> <li>2. Вибрати одну з 3-х площин (Front, Top, Right)</li> <li>3. Задатися напрямком побудови, ліворуч чи праворуч</li> <li>4. Створити ескіз лівого торця вала (побудувати коло Ø50 мм)</li> <li>5. Витягнути підставу на 28 мм</li> <li>6. На торці циліндра Ø50 мм побудувати новий ескіз Ø52 мм</li> <li>7. Витягнути підставу на 30 мм</li> <li>8. Аналогічно побудувати інші 11 ступенів вала.</li> <li>9. Виконати фаску лівого торця вала з параметрами <math>2 \times 45^\circ</math> (натиснути кнопку <i>Фаска</i>, вибрати у вікні, що відкрилося, спосіб побудови фаски, довжину й кут).</li> <li>10. Вибрати операцію округлення, установити у вікні, що відкрилося, параметри округлення).</li> <li>11. На поверхні вала Ø60 й 62 мм зробити ескіз шпонкового паза (ескіз шпонкового паза підібрати по діаметру вала з <i>Конструкторської бібліотеки</i>). Зробити операцію <i>Видавлювання</i> і встановити у вікні, що відкрилося, параметри видавлювання. Подібним чином необхідно побудувати шпонкові пази під колектор і під фланець карданного вала.</li> </ol>
--	---

Для цього треба вибрати існуючу (збережену на жорсткому диску) тривимірну модель *Вала* й створити в активному документі креслення цієї моделі, що складається з одного або декількох стандартних асоціативних видів. Для виклику команди натисніть кнопку *Стандартні види* на інструментальній панелі *Асоціативні види* або виберіть її назву в меню *Вставка – Вид з моделі*. На екра-

ні з'явиться діалог, в якому слід вибрати модель. Після того, як модель обрана, у вікні креслення з'являється фантом зображення у вигляді габаритних прямокутників видів з моделі.

Після вибору потрібних стандартних видів і їхнього настроювання вкажіть положення точки прив'язки зображення – початку координат головного виду. В активний документ будуть вставлені види з моделі, в основний напис креслення передадуться наступні відомості з документа-моделі: позначення, найменування, маса, матеріал.

Креслення деталі *Вал* представлено на рис. 3. При конструюванні валів переходи (галтелі) від одного діаметра до іншого виконують плавно, з можливо більшим радіусом, як показано на рис. 3.

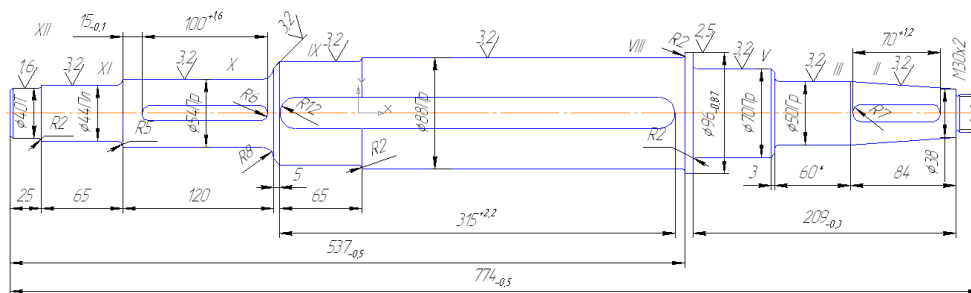



Рис. 3 – Креслення вала тягового двигуна

"Компас-графік" підтримує всі передбачені ЄСКД типи розмірів: лінійні, діаметральні, кутові й радіальні. Кнопки виклику відповідних команд розташовані на сторінці *Розміри й технологічні позначення*  Інструментальної панелі (рис. 4).

"Компас-графік" дозволяє значно скоротити час на проставляння розмірів за рахунок автоматичного виміру значень за умови точного виконання геометричних побудов. Для проставляння діаметра, радіуса, кутового розміру, фаски на валу необхідно вказати на вимірювану криву, далі треба натиснути кнопку *Лінійний розмір* на панелі інструментів відкривається панель властивостей, зовнішній вигляд якої й правила заповнення зазначені в табл. 2.

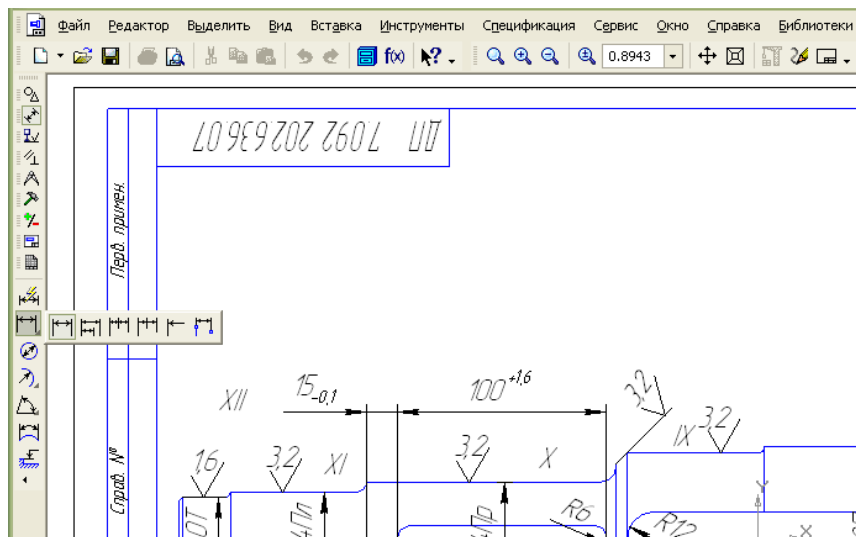


Рис. 4 – Фрагмент вікна програми "Компас-графік"

Таблица 2 – Зовнішній вигляд панелі властивостей і правила її заповнення

	<p>Указати координати 1-ї точки вимірюваного відрізка.</p> <p>Указати координати 2-ї точки вимірюваного відрізка.</p> <p>Вибрати тип розташування лінійного розміру. Заповнити розмірний напис. Для заповнення необхідно натиснути лівою кнопкою маніпулятора у відповідному полі - відкриється вікно.</p> <p>Вибрати тип розміру, який потрібно проставити. Значення розміру проставляється автоматично. Натиснути кнопку <i>Квалітет</i>, для вибору квалітету Для проставлення відхилень потрібно поставити помітку у вікні <i>Включити</i> Можливо проставляння одиниці виміру У цьому полі проставляється текст після розміру, наприклад: <i>2 фаски x 45°</i> Після заповнення необхідно підтвердити правильність введеної інформації натисканням кнопки <i>ОК</i>.</p>
--	---



Поверхня *I* має метричне різьблення М30х2, на яке накручують гайку для кріплення муфти карданної передачі. Посадочна поверхня *II* під муфту конусна з ухилом  $\Delta 1:10$ . Положення муфти на валу фіксують шпонкою. Поверхню *III* обробляють під гарячу посадку ( $G_p$ ) підлабіринтної втулки для кріплення підшипника. На поверхню *IV* насаджують кульковий підшипник (допускаються овальність і конусність поверхні не більше 0,1 мм); посадка поверхні *IV* напружена (Н).

Задню натискну шайбу на поверхню *VII* установлюють тугою (Т) посадкою, а сталевий пакет на поверхню *VIII* – пресовою ( $P_p$ ) посадкою. Поверхню *IX* під передню натискну шайбу виконують з допусками під гарячу посадку. Колектор на поверхню *X* насаджують пресовою посадкою, підлабіринтну втулку – на поверхню *XI* ставлять легкопресовою ( $P_{\text{л}}$ ) посадкою, а підшипник на поверхню *XII* ставлять також само, як на поверхні *IV*, і затискають із торця шайбою.

Натискні шайби відливають із сталі марки 25Л. На рис.5 зображений фрагмент вікна програми з 3-D моделлю задньої натискної шайби, що є тілом обертання. Побудову 3-D моделі треба почати з побудови ескізу (ескіз *1* виділений зеленим кольором у графічній області й у дереві побудови деталі), далі потрібно вибрати команду *Повернути* на панелі інструментів. У вікні, що відкрилося, вказати ескіз, який слід повернути й вісь, навколо якої, необхідно повернути ескіз. Якщо все правильно виконано, в графічній області буде створено фантом натискної шайби.

Далі необхідно на лівій торцевій площині натискної шайби побудувати ескіз отвору під вал якоря (ескіз *4*), потім вибрати команду *Виріз-Витягнути* і установити параметр «через все». Наступний крок – побудова двох фасок, для цього треба виділити грані, на яких слід побудувати фаски й установити параметри фаски: довжину сторони й кут, або *сторона 1* і *сторона 2*. Далі необхідно побудувати ескіз вентиляційного отвору (ескіз *5*) і вирізати встановивши параметр «через все».

Користуючись командою *Круговий масив* необхідно скопіювати побудований вентиляційний отвір (щоб не повторювати вище наведену операцію шість разів) навколо осі обертання (вісь обертання позначена пунктирною лінією, що проходить через вихідну точку й виділена зеленим кольором). Після виклику команди *Круговий масив* у вікні, що відкрилося, вказати ескіз, вісь обертання й задати кількість копій. У вікні попереднього перегляду згенеруються фантомні зображення передбачуваних отворів. Далі треба підтвердити вибір натисканням кнопки *ОК*.

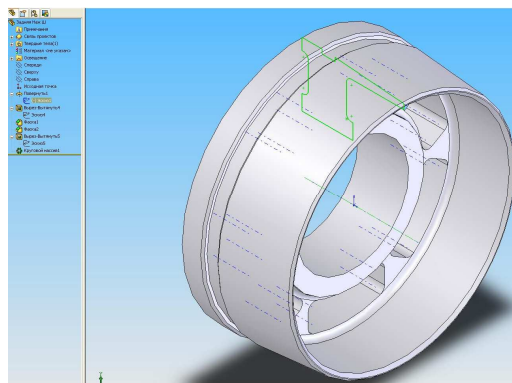


Рис. 5 – Фрагмент вікна програми з 3-D моделлю задньої натискної шайби

На будь-якій стадії побудови модель можна відредагувати, для цього необхідно на неправильну ступінь дерева побудови навести курсор і натиснути праву кнопку, з'явиться контекстне меню. У меню вибрати з списку *Відредагувати ескіз*, *Відредагувати визначення* або *Видалити* (рис. 6). На рис. 7 наведене креслення задньої натискної шайби, побудоване за допомогою операції *Створити заготовку креслення*. Розміри й технологічні позначення проставляються за методикою, описаною в табл.2.

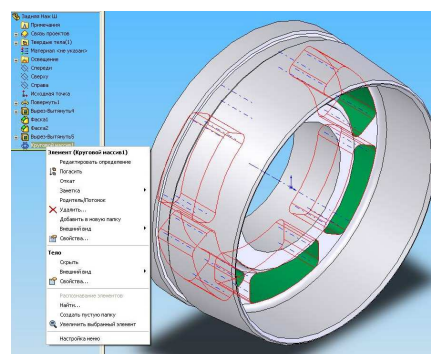


Рис. 6 – Редагування 3-D моделі за допомогою контекстного меню

Посадочна поверхня передньої натискної шайби значно більше задньої, тому що вона повинна утримувати сталевий пакет у спресованому стані. На рис.8 зображений фрагмент вікна програми з 3-D моделлю передньої натискної шайби, а на рис.9 – креслення передньої натискної шайби згенероване за тривимірним зображенням деталі.

Вентиляційні отвори у натискних шайбах, сталевому пакеті якоря, а також у колекторі виконують таким чином, щоб швидкість повітря в них становила 15 м/хв при проході через них 30% загального обсягу вентиляційного повітря.

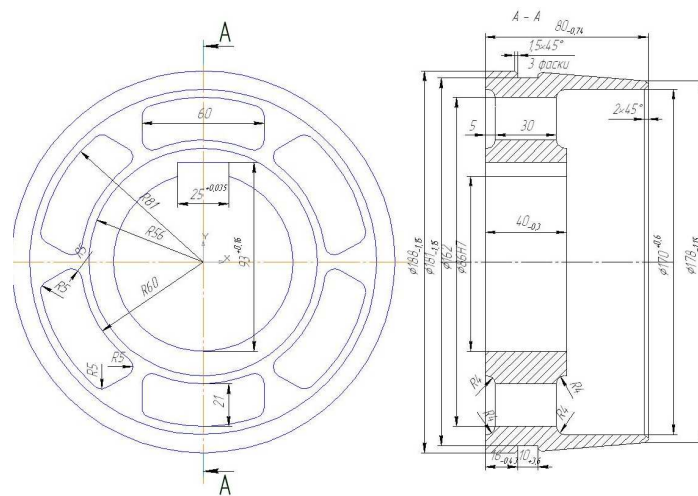


Рис. 7 – Креслення задньої натискної шайби

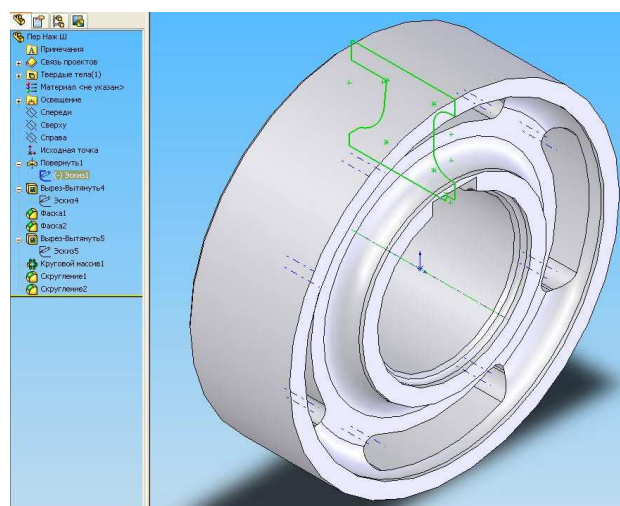


Рис. 8 – Фрагмент вікна програми з моделлю передньої натискної шайби

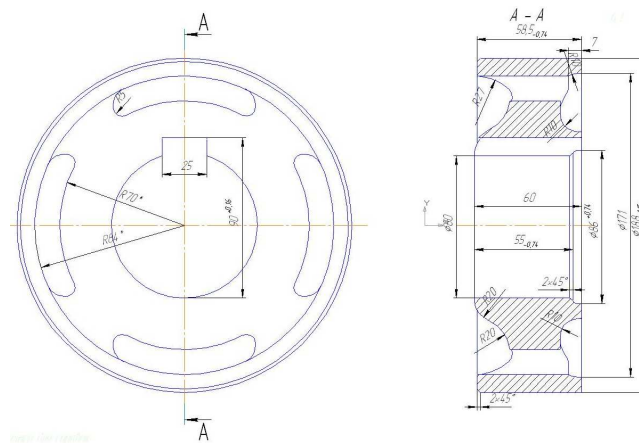


Рис. 9 – Креслення передньої натискної шайби

Сталевий пакет якоря набирають з листів, електротехнічної сталі марки Э13 товщиною 0,5 мм (рис.10), ізольованих між собою бакелітовим лаком або лаком (емаллю) №202 чи 302, який забезпечує двосторонню товщину плівки 0,03 мм, коефіцієнт заповнення сталі 0,94. Щоб правильно розташувати окремі листи сталі пакета якоря відносно один одного, а також стосовно колектора, деталі фіксують на валу шпонками, щодо яких розміщують пази для укладання обмотки й вентиляційні канали. В осьовому отворі роблять знак штампування *Б* радіусом 2 мм.

При насадці листів на вал стежать за збігом знака штампування. На листі вказані основні розміри, необхідні для виготовлення компаундного штампа, допуски на розміри листа й чистота обробки листів, що виходить при штампуванні. Для збільшення терміну служби штампа краї і гострі кути в пазу округляють радіусом  $R = 0,5 \text{ мм}$ . При збиранні пакета листової сталі на вал якоря допускається пресова посадка. Фіксація листів під час збирання тільки шпонкою на валу якоря недостатня, тому в пази вставляють один, а то і два напрямні стрижні, що мають за шириною розмір паза, зменшений у порівнянні з штампованим листом на 0,2 мм.

У процесі збирання сталевий пакет неодноразово підпресовують, а повний пакет пресують зусиллям, що забезпечує питомий тиск на дійсну площу листа 5 МПа (за винятком площі осьового отвору пазів і вентиляційних каналів).



Після збирання осердя якоря у випадку недостатньо гладкої поверхні пазів проводять дорновку. Ця операція полягає в додатковій обробці пазової частини осердя, що забезпечує одержання гладкої поверхні, але веде до підвищення магнітних втрат у сталі якоря через замикання листів по поверхні через задирки, що утворюються при протяганні дорна. Гострі кути й краї на кінцях осердя згладжують обпилювкою. На вал якоря напресовують натискні шайби (передню й задню), які стискають сталевий пакет якоря. Зовнішній вигляд осердя якоря зображений на рис.12. Осердя якоря піддається балансуванню за допомогою сталевих вантажів, які приварюють до внутрішніх поверхонь натискних шайб.



Рис. 12 – Фотореалістичне зображення осердя якоря

## **4.2 Проектування колектора**

Колектор призначений для підведення до обмотки якоря струму й забезпечення комутації у секціях цієї обмотки. У тягових двигунах застосовують колектори аркового типу. Колектор є складним вузлом електричної машини, тому що потрібно забезпечити монолітну робочу поверхню колектора, що складається з великого числа мідних і міканітових пластин, які чергуються. У тягових електродвигунах застосовують тільки аркові колектори (рис. 13).



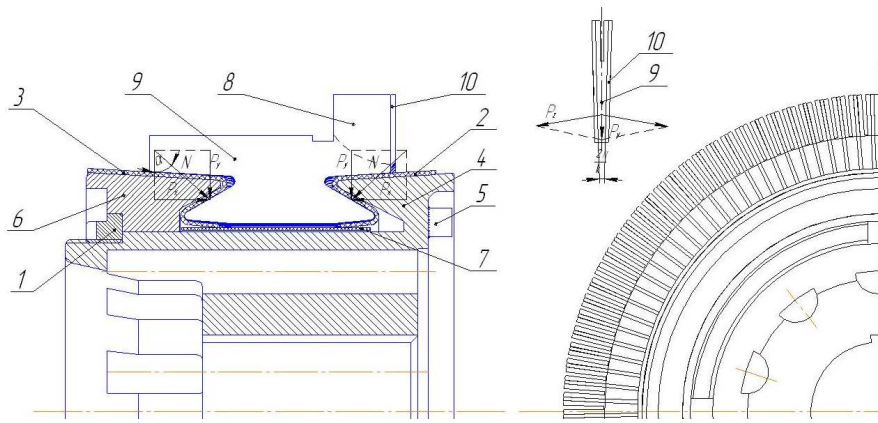


Рис. 13 – Колектор аркового типу

Клиноподібні мідні колекторні пластини 9 з прорізом, ізолювані один від одного каліброваними міканітовими пластинами й зібраними в кільце, затискають між корпусом (втулкою) колектора 4 і натискним конусом 6 за допомогою гайки 1. Для ізоляції колекторних пластин від корпусу й натискного конуса служать міканітові ізоляційні конуси 2, 3 й ізоляційний циліндр 7. „Півники” колекторних пластин 8 мають шліці, в які укладають та припаюють кінці обмотки якоря.

У „півниках” міканітові пластини 10 роблять ширше мідних, щоб при пайці провідників запобігти замиканню між собою мідних пластин через можливе утворення «містків» з припою. У зібраному, вирівняному й спресованому в кільце комплекті колекторних пластин роблять виточення, що утворюють у нижній частині пластин виступи у вигляді ластівчиного хвоста.

Передача тиску від сили запресовування  $P_{запр}$  з корпусу колектора й натискного конуса на комплект колекторних пластин відбувається по опорній поверхні ластівчиного хвоста. У верхній частині виточень між колекторними пластинами й міканітовими манжетами є зазор 0,5-1,0 мм.

Колекторні пластини виготовляють з твердої холоднотягнутої міді або з кадмієвої міді. Кадмієва мідь більш дорога, але має кращі властивості, має значно менший знос, тому колектори тягових двигунів виготовляють із кадмієвої міді. На рис.14 зображений фрагмент вікна програми з 3-D моделлю колекторної пластини. Порядок побудови 3-D моделі наступний:

- на панелі інструментів *Стандартна* вибрати команду *Створити деталь*, дати оригінальне ім'я файлу, вказати папку, куди зберегти нову деталь;
- на площині *Праворуч* створити ескіз мідного профілю, закрити ескіз і ви-  
кликавши команду *Витягнути* встановити у вікні, що відкрилося, відстань,  
на яку необхідно витягнути ескіз. Вона дорівнює довжині заготовки плас-  
тини із припусками на обробку, потім натиснути кнопку ОК;
- створити ескіз під робочу поверхню колектора й виконати операцію *Ви-  
різ-Витягнути 1* (ескіз виділений червоним кольором);
- створити ескіз під кріплення ластівчиного хвоста й виконати операцію  
*Виріз-Витягнути 2*;
- виконати округлення крайок пластини з радіусом  $R=0,5$  мм;
- виконати команду *Виріз-Повернути1* для одержання прорізу в «півнику»  
пластини під пайку обмотки якоря;
- зберегти зображення деталі.

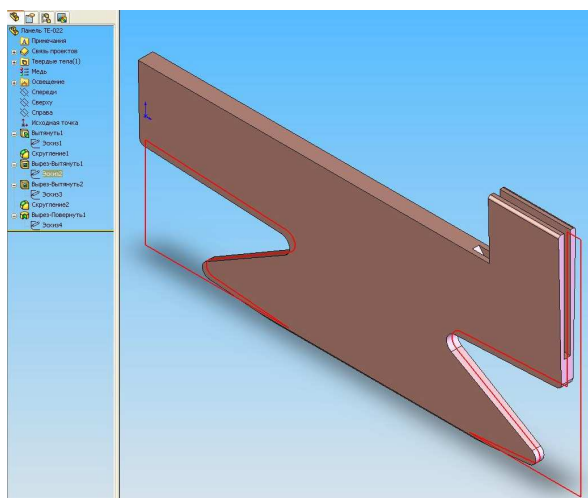
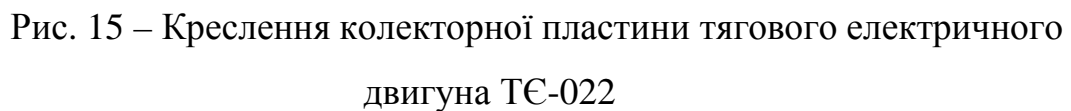


Рис. 14 – Фрагмент вікна програми з моделлю колекторної пластини

Побудова ескізу моделі деталі ґрунтується на даних, наведених на робо-  
чому кресленні деталі, або на розмірах деталі знятих з деталі за допомогою ви-  
мірювальних інструментів, що забезпечують необхідну точність вимірів. Рабо-  
че креслення деталі *Колекторна пластина* подано на рис. 15.





Як ізоляційні прокладки між колекторними пластинами застосовують головним чином колекторний міканіт наступних марок:

КФГ – колекторний міканіт з слюди флогопіт на гліфталевому лаку.

Фізико-механічні властивості й точність виготовлення міканітових прокладок колектора мають не менший вплив на стабільність форми й надійність



Для вимірювання віртуального збирання ізоляторних й ізоляційних пластин

на стандартній основі використати інформацію, зібрану за останні 12 років

Алгоритм побудови складання *Комплект колекторних пластин* представлений у табл. 3, а на рис. 17 наведений результат побудови.

Таблиця 3 – Алгоритм побудови складання *Комплект колекторних пластин*

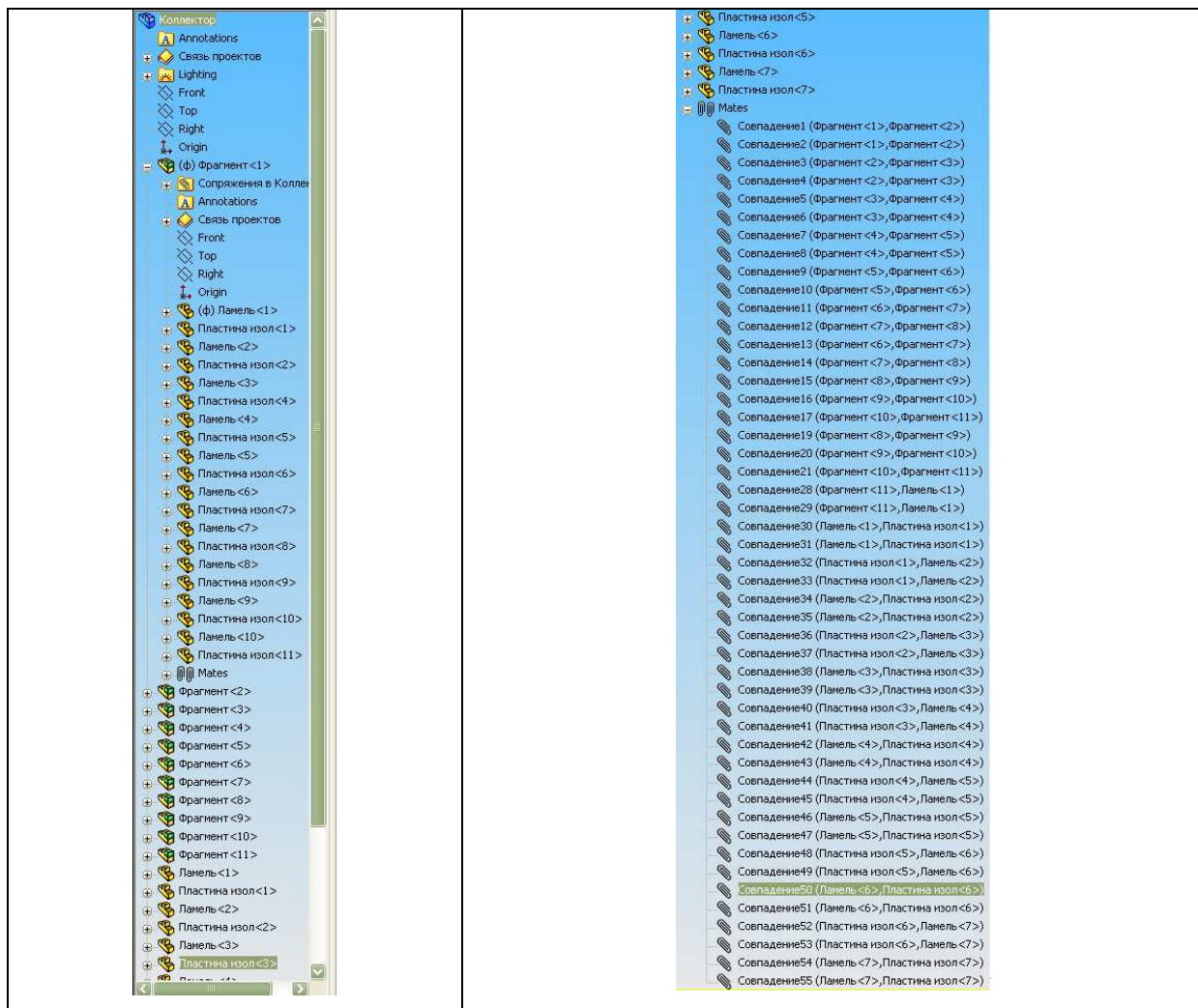


Рис. 17 – 3-D складання комплекту колекторних пластин

Для створення необхідного тиску між пластинами й надання колектору циліндричної форми зібрані в кільце пластини піддають пресуванню в конічному сталевому кільці 1 з розрізними плашками 2 (рис. 18).

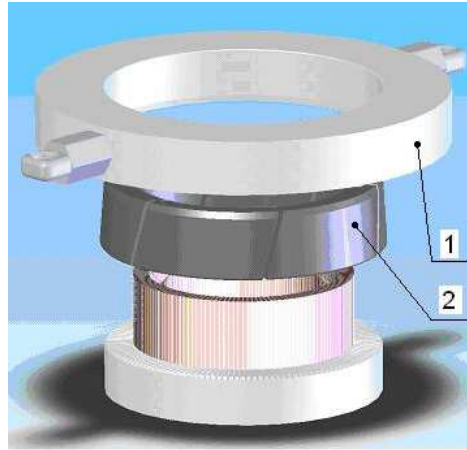


Рис. 18 – Пресування комплекту колекторних пластин

Для пресування розрізні чавунні плашки надягають на комплект пластин, знявши з нього попередньо з'єднальний дрiт. Потiм на плашки надягають суцiльне сталеве конiчне кільце 1, установлюють колонки гiдравлiчного преса й дають на них тиск 15÷18 т. При цьому розрізні плашки 2 стискають й спресовують комплект пластин. Двічі нагрівають комплект пластин до температури 180°C, після кожного нагрівання підпресовують у гарячому й після остигання в холодному стані. Далі роблять перевірку на відсутність замикань між пластинами контрольною лампою потужністю 60-100 Вт при напрузі 220 В.

Після остаточного пресування комплект пластин разом із пресувальним кільцем надходить на обробку ластівчиних хвостів. При обробці ластівчиних хвостів слід побоюватися замикань між пластинами через заусениці. Тому беруть невеликий переріз стружки й більші швидкості різання – до 250 м/хв [5]. Перевірку на замикання між пластинами роблять зовнішнім оглядом, під час якого шабером знімають всі заусениці міді на поверхні міканітових прокладок.

При проточці ластівчиних хвостів у колекторах для виміру профілю застосовують два шаблони: з кутом 30° для попередньої проточки й 33° — для остаточної. У великій частині колекторів застосовують ті самі кути ластівчиних

хвостів, а змінюють тільки глибину виточення. Після механічної обробки ластівчиних хвостів виконують загальну зборку колектора. На складальній плиті встановлюють втулку колектора 1, ще раз перевіряють відсутність затягувань міді в ластівчиних хвостах колекторних пластин і відсутність забоїн на конусах втулки й натискного конуса.

Підготовлений ізоляційний конус 2 і міканітів циліндр 3 надягають на сталевий натискний конус втулки 1 (рис. 19). Установлюють мідні пластини, що перебувають у кільці 4, яке пресує, „півниками” або прорізами вниз на міканітів конус 3. У верхнє конічне виточення в пластинах вкладають міканітів конус 6 і верхній натискний конус 7. Захищають зазор між міканітовим конусом і пластинами шляхом обв'язування кіперною стрічкою з обох сторін колектора, охороняючи від металевих стружок, пилу та інших сторонніх предметів.

У зібраному стані перевіряють рейсмусом горизонтальність положення торцевої поверхні мідних пластин і верхнього конуса щодо складальної плити. Згідно з маршрутним технологічним процесом на виготовлення колектора його необхідно запресувати зусиллям  $15 \div 18$  т і, не знімаючи зусилля, затягти гайку 8 колектора. Дану операцію рекомендується виконувати за допомогою пристрою зображеного на рис.19.

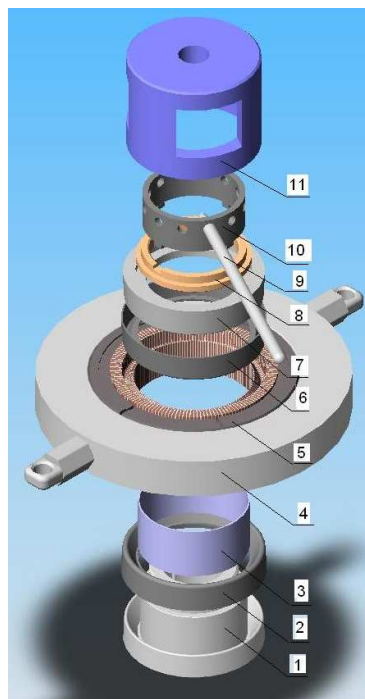


Рис. 19 – Пристрій для затягування гайки колектора:



Пристрій конструктивно складається з наставки 11, ключа 10 і воротка 9. Для того щоб затягти гайку 8, треба вставити вороток 9 у вікно наставки 11 і затягти гайку обертовим рухом. Потім необхідно перевірити перекіс конуса й торця пакета колекторних пластин щодо плити преса. Перекіс повинен бути не більше 1 мм.

Для створення монолітної конструкції колектор проходить тривале формування. Після затягування гайки колектора й зняття запресованого присторою колектор знову двічі нагрівають до  $160^{\circ}\text{C}$  і пресують під тиском  $p_{запр}$ . Далі його двічі піддають розгону при частоті обертання  $1,25 n_{max}$  з одночасним нагріванням до  $140^{\circ}\text{C}$ . Після кожного розгону, що триває 15 - 60 хв., колектор у гарячому й холодному стані пресують і до кінця затягують гайку. Такий технологічний процес забезпечує стабільність подальшої роботи колектора. Колектор, що пройшов формування, запресовують на вал осердя якоря, зовнішній вигляд якого показаний на рис.20.



Рис. 20 – Осердя якоря під укладання обмотки якоря

При підготовці осердя якоря до укладання обмотки потрібно попередньо виконати дві операції: зробити обпиловку гострих кутів торців зубців сталевго пакета й акуратно покласти ізоляцію натискних шайб. Вона повинна бути на рівні дна пазів осердя і вище приблизно на 1 мм дна шліців колекторних пластин.

### 4.3 Проектування обмотки якоря

Котушки обмотки якоря складаються з елементарних секцій і мають ширину, приблизно рівну полюсному розподілу – відстані між осями суміжних головних полюсів по дузі кола якоря. Елементарна секція складається з одного або декількох витків. Виток має два активних провідники обмотки якоря. Число елементарних секцій в обмотці якоря дорівнює числу колекторних пластин  $K$ ; число котушок обмотки якоря дорівнює числу пазів  $Z$ . Кожна котушка лежить у двох пазах: в одному – в нижній, а в іншому – у верхній частині паза. Таким чином, у кожному пазу лежать дві котушки (однією стороною).

За способом з'єднання елементарних секцій якірні обмотки діляться на петльові, хвильові й комбіновані. На тягових електричних двигунах трамваїв і тролейбусів комбіновані обмотки не застосовують. Котушку обмотки якоря умовно ділять на три частини: активну, розташовану в пазах осердя, задню лобову частину, розташовану між колектором і осердя, і передню лобову частину. Розміщення котушок у пазах і їхнє з'єднання з колектором визначають кроком обмотки.

Як приклад розглянемо побудову схеми з'єднання хвильової обмотки тягового електричного двигуна трамвайного вагона потужністю 45 кВт. Параметри обмотки якоря:

- кількість провідників обмотки якоря,  $N$  - 234;
- кількість колекторних пластин,  $K$  - 117;
- кількість пазів якоря,  $Z$  - 39;
- кількість секцій у котушці,  $U_n$  - 3.

Крок обмотки за пазами визначають за формулою

$$y_{1Z} = Z/(2p) \pm \varepsilon_n = 39/4 \pm 0,75 = 9. \quad (1)$$

де  $p$  — число пар полюсів двигуна;

$\varepsilon_n$  — укорочення кроку обмотки (при хвильовій обмотці  $\varepsilon_n = 1/3$  або  $3/4$ , при петльовій  $\varepsilon_n = 1/2$ ).

Крок обмотки  $y_{1Z}$  повинен бути цілим числом. Крок  $y_{1Z}$  визначає положення катушок у пазах. Наприклад,  $y_{1Z} = 9$  означає, що коли нижня сторона катушки лежить у першому пази, то верхня сторона — в десятому.

При графічному зображенні схеми з'єднання обмоток користуються частковими кроками (кроками в елементарних секціях). Відстань між сторонами однієї і тієї ж секції називається *першим частковим кроком*  $y_1$  обмотки, він характеризує ширину секції. Щоб е.р.с. сторін секцій складалася, необхідно щоб сторони секцій перебували під різними полюсами, тобто перший частковий крок повинен приблизно рівнятися полюсному розподілу вираженому в елементарних пазах.

*Перший частковий крок* визначається за формулою

$$y_1 = k / 2p - \varepsilon_k = 117/4 + 0,25 = 33, \quad (2)$$

де  $\varepsilon_k$  — укорочення обмотки (у розглянутому випадку  $\varepsilon_k = 0,25$  для забезпечення умови рівносекційності катушок).

Крок за колектором для хвильової обмотки

$$y_k = (K \pm 1)/p = (117-1)/2 = 58. \quad (3)$$

Знак «—» ставиться до не перехрещеної обмотки, а знак «+» — до перехрещеної обмотки, в якій кінець  $(y_k + 1)$ -ї секції приєднується до другої колекторної пластини. Відстань між кінцем однієї секції і початком наступної секції називається *другим частковим кроком*, що визначається за формулою

$$y_2 = y_k - y_1 = 58 - 32 = 27. \quad (4)$$

На рис. 21 за розрахунковими даними побудована схема з'єднання секцій для хвильової обмотки якоря у графічному пакеті «Компас-графік».

Порядок побудови схеми з'єднань секцій обмотки якоря:

- створити новий фрагмент, дати йому ім'я і зберегти його у відповідній папці на жорсткому диску;
- задатися умовною шириною і довжиною колекторної пластини (5 й 10 мм відповідно), оскільки кроки обмотки будуть виражатися в колекторних розподілах;



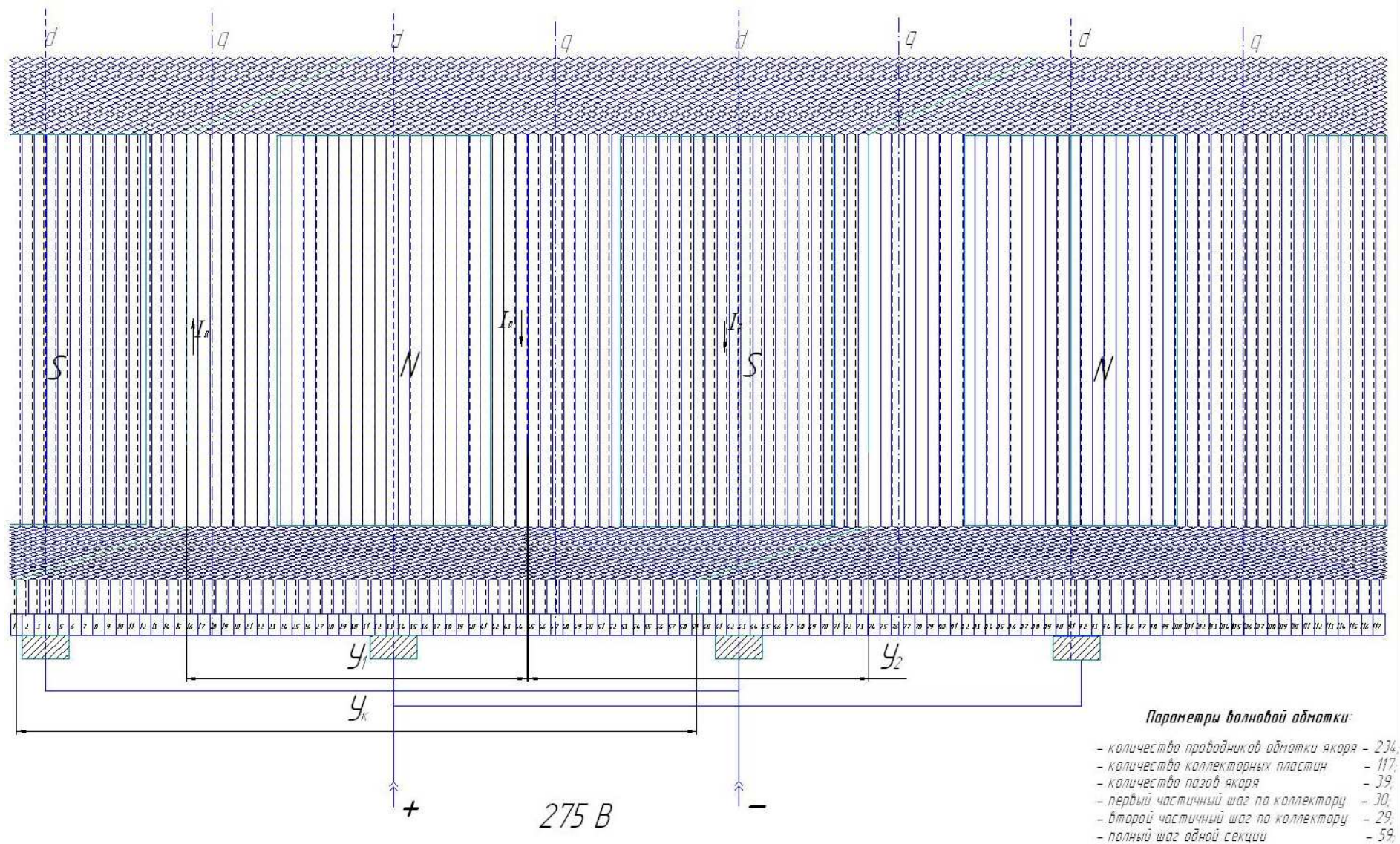


Рис. 21 – Схема з'єднань секцій обмотки якоря

- щоб побудувати першу колекторну пластину, для цього необхідно на панелі інструментів вибрати кнопку *Геометрія й побудова*, вибрати інструмент *Прямокутник* і з його допомогою побудувати прямокутник з розмірами сторін 5 й 10 мм);
- добудувати до 1-ї колекторної пластини ще 116 таких же пластин у горизонтальному напрямку, кожен пластину пронумерувати з ліва на право;
- провести вісь головного полюса зверху вниз через початок (середину, кінець)  $n$ -ї колекторної пластини, позначимо її буквою  $d$ ;
- провести допоміжну лінію на відстані  $y_{1/2}$  ліворуч і праворуч осі ГП;
- провести допоміжну лінію на відстані  $y_k/2$  ліворуч і праворуч осі ГП;
- з 1-ї колекторної пластини провести ламану лінію з'єднуючі контрольні ділянки обмотки якоря: колекторна пластина – передня лобова частина ліворуч від осі ГП – активна частина – задня лобова частина обмотки якоря – вісь ГП; скориставшись командою *Симетрія* на панелі *Редагування*, симетрично відобразимо побудовану ламану лінію щодо осі ГП;
- далі треба побудувати інші 116 секцій обмотки якоря так, щоб до кожної колекторної пластини були підключені один початок і один кінець кожної секції;
- далі треба добудувати інші осі ГП на відстані кратній  $\tau$ , а між ними провести осі додаткових полюсів  $q$  на відстані  $\tau/2$ ;
- нанести на схему магнітні полюси  $N$  й  $S$ , для цього треба побудувати прямокутник на осі  $d$  довжиною рівної активної частини обмотки й шириною рівною  $b_{пол}/2$ , використовуючи команду *Симетрія* дзеркально відобразити побудований прямокутник щодо осі  $d$ . Аналогічно побудувати інші три магнітних полюси;
- нанести на схему розташування щіток, вибравши попередньо параметр - щіткове перекриття. Побудувати схему підключення колектора до напруги мережі.

Для раціонального використання розмірів якоря треба визначити оптимальний розмір паза, а для цього необхідно підібрати переріз і розташування провідників обмотки якоря. Найпоширене розташування провідників, при якому провідники лежать у горизонтальному ряді (рис. 22). При високих сторонах секцій для зниження додаткових втрат (комутаційних і від пазового поля) і зменшення радіуса для вигину головок котушок (чим вище стрижень, тим з більшим радіусом потрібно гнути головку).

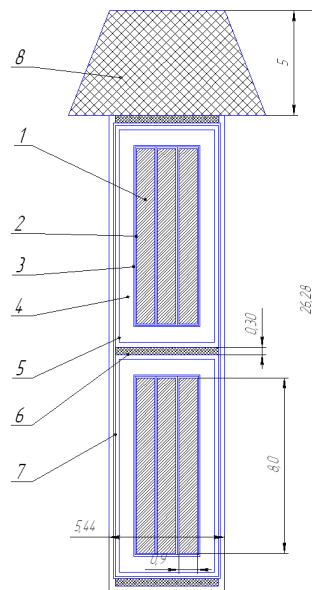


Рис. 22 – Ізоляція пазової частини якірної котушки

Вертикальне розташування стрижнів котушки в пазу знижує додаткові втрати в міді й зменшує товщину ізоляції за шириною паза, що поліпшує тепловіддачу й забезпечує більш рівномірну тепловіддачу всіх стрижнів. Істотним недоліком такого розташування є ускладнення конструкції котушки, тому що потрібно або розгортати стрижні на  $90^\circ$ , що потребує подовження переднього вильоту обмотки, або розплющувати кінці стрижнів при виводі їх у колектор. Згідно з [2] «перехід від вертикального до горизонтального розташування провідників дозволяє збільшувати потужність машини приблизно на 10-15%».

Розміри паза (рис. 22) залежать від розміру провідників якірної обмотки, їхнього числа, розташування, а також від ізоляційних матеріалів, застосовува-

них при виготовленні котушок якоря. Ізоляція провідників обмотки якоря складається з:

- виткової ізоляції 2, що виконується з мікаленти ЛФЧ-2, товщиною 0,08...0,1мм або кремнеорганічної скломікаленти 2ЛФК товщиною 0,13 мм одним шаром у півнапуска. Якщо застосовують ізолюваний провід ПСДК, то товщина ізоляції на дві сторони буде дорівнювати 0,35 мм;
- стяжної ізоляції 3, що виконується склолентою товщиною 0,1 мм одним шаром у стик;
- корпусної ізоляції 4, що виконується залежно від напруги на колекторі машини (табл. 2.3 [2]), вибираємо відповідно до розглянутого варіанта мікаленту товщиною 1,04 мм на дві сторони;
- покривної ізоляції 5, що для машин до 1000 В виконується зі склоленти товщиною 0,15 мм у два шари, при укладанні обмотки якоря в паз захищає корпусну ізоляцію від механічних пошкоджень;
- прокладки з міканіту 6 товщиною 0,5 мм, для захисту від механічних пошкоджень;
- додаткової захисної ізоляції 7, що виконується зі склакоткани товщиною 0,15 мм перед укладанням у неї котушок якоря;
- клина 8 товщиною 5 мм, що запобігає випаданню обмотки під дією відцентрової сили, що виникає при обертанні якоря;
- за шириною паза передбачається технологічний зазор на укладання 0,2...0,3 мм.

На рис. 23 наведене креслення стрижневої якірної котушки хвильової обмотки з трьома секціями, виконаними з прямокутної ізолюваної міді розміром 0,9х8,0 мм марки ПСДКТ. На кресленні наведені розміри з допусками, необхідними для виготовлення котушки. Креслення котушки виконане в графічному пакеті «Компас-графік».

Котушка якоря зображена умовно з вказівкою радіуса вигину  $R=4\text{мм}$  на вузьке ребро головки для переходу з нижніх сторін у верхні й діаметри, по яких зроблений вигин лобових частин котушки, нижньої і верхньої її сторін.





стрижневої обмотки в шліці колектора. Натискні шайби ізолюють гнучким міканітом й азбестовим папером.

Між верхніми й нижніми сторонами котушок на лобових частинах також прокладають ізоляцію мікалентою у три шари загальною товщиною 0,6 мм для двигунів з номінальною напругою 550 В (табл. 2.2 [2]). Інший простір, обумовлений конфігурацією лобових частин, заповнюють азбестовим папером або іншим подібним матеріалом. Ізоляція зверху лобових частин (побандажна) складається, як правило, з одного шару гнучкого міканіту товщиною 0,3-0,5 мм й одного шару електрокартону (для класу *B*) або гнучкого міканіту й азбестового паперу або товстої склолакоткані.

Після пайки „півників”, обточування поверхні колектора, забивання клинів і накладення тимчасового бандажа здійснюють сушіння якоря під вакуумом протягом 8—12 годин при 110—130°C, а потім просочення під тиском. Після першого просочення і сушіння на холодному якорі роблять постійне бандажування і потім друге сушіння, просочення і нове сушіння. Після пайки „півників” і сушіння в результаті виникнення в колекторі додаткових температурних напруг іноді порушується твердість колекторного кільця за рахунок появи залишкової деформації міканіту, тому додатково підтягують гайку колектора.

Після цього роблять оздоблювальні операції: продорожку колектора (фрезерування колекторного міканіту), шліфування колектора, остаточне фарбування дугостійкою емаллю міканітової манжети, динамічне балансування якоря.

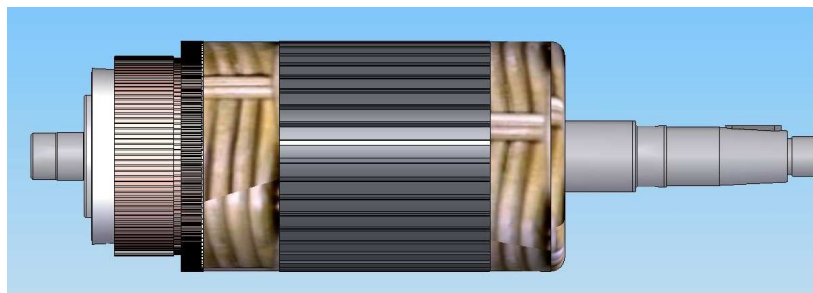


Рис. 24 – Ізоляція й бандажування якоря

#### 4.4 Вибір вентилятора

У двигунах із самовентиляцією на якір насаджують відцентровий вентилятор, що продуває повітря крізь машину. Вентилятор звичайно розташовується з боку, протилежного колектору, де розміщення його більш конструктивно доцільно (рис. 25), але зустрічається і кріплення з боку колектора.

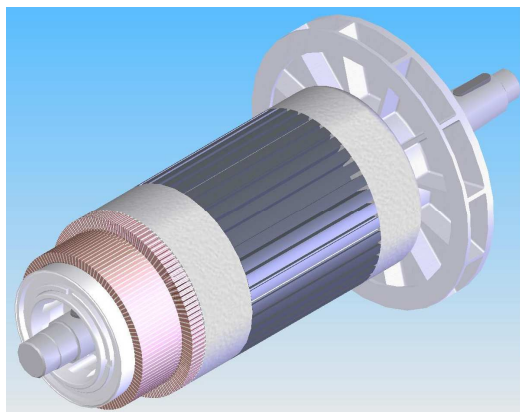


Рис. 25 – Якір електродвигуна з вентилятором

На рис. 26 представлений силуміновий вентилятор 3 з сталеву втулкою 2, що сидить на валу двигуна 1. Ця конструкція характерна для двигунів міського транспорту з незалежною підвіскою. Кріплення вентилятора до втулки здійснюється заклепками 4. Силумін добре відливається, але він має відносно низьку механічну міцність ( $\sigma_{\text{в}} = 15 \text{ кг/мм}^2$ ,  $H_{\text{в}} = 50$ ), для чого й потрібна сталеві втулка для посадки його на вал (посадка Пл і Пр).

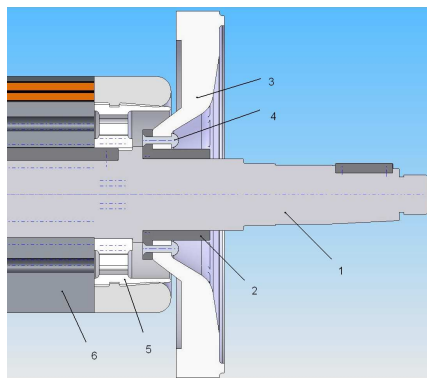


Рис. 26 – Кріплення вентилятора на валу якоря:

*1 - вал; 2 - сталеві втулка; 3 - вентилятор силуміновий;; 4 - заклепка;*

*5 - задня натискна шайба; 7 - сталевий пакет якоря*

## 4.5 Проектування головних полюсів

За системою збудження головних полюсів електричні машини постійного струму розділяють на машини послідовного (серієсного), паралельного (шунтового) і змішаного (компаундного) збудження. На тролейбусах і трамвайних вагонах застосовують тягові двигуни (ТЕД) послідовного й змішаного збудження. Головні полюси призначені для створення магнітного поля двигуна. Котушки обмотки збудження з'єднують між собою звичайно послідовно, чергуючи магнітні полюси (південний - північний - південний і т.д.).

### 4.5.1 Осердя полюсів

Осердя збирають зі штампованих листів сталі Ст2 товщиною 1,5...2 мм. Крайні листи виконують із листової сталі товщиною 5 мм по два аркуша з кожної сторони полюса. У крайніх листах полюса роблять зенківку для розвальцьовування головок заклепок, що скріплюють полюс у монолітну конструкцію. На рис. 27 показаний один з листів головного полюса: перед розвальцьовуванням заклепок листи збирають у спеціальному пристосуванні й спресовують тиском площі листа полюса, рівним 6-7 МПа.

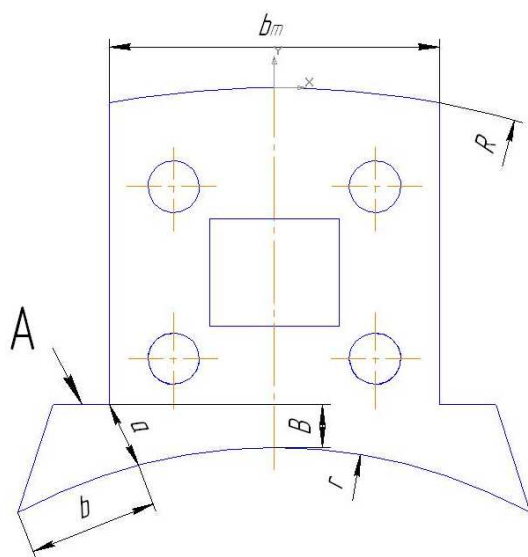


Рис. 27 – Лист осердя головного полюса



У центрі осердя полюса довгих машин ставлять сталевий стрижень, що надає полюсу необхідну твердість і є гайкою для болтів, що притягають полюс до станини (рис.28).

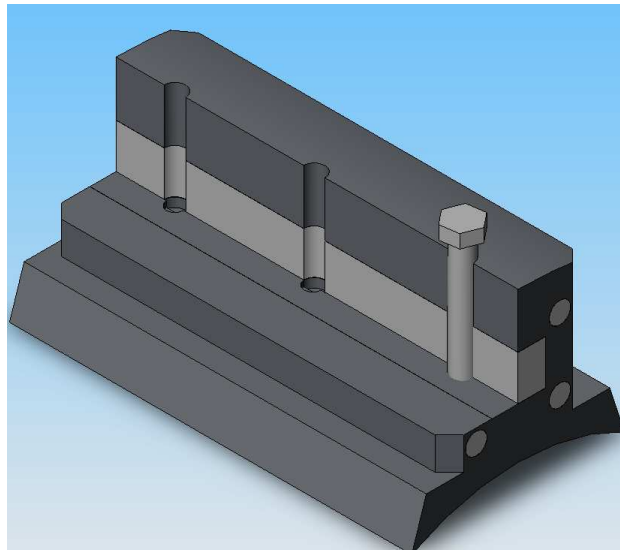


Рис. 28 – 3-D складання осердя головного полюса

У відносно коротких машинах, наприклад у тягових двигунах вагонів трамваїв стрижень звичайно не ставлять. Нарізку під кріплення полюсів роблять у самому листовому осерді. Але в цьому випадку переважніше кріпити полюси до станини за допомогою шпильок. В осерді головного полюса роблять довгу нарізку, у яку щільно ввертають шпильки, звичайно 2-3 шт. Тоді полюси до станини кріплять за допомогою гайок, які нагвинчують на шпильки.

#### **4.5.2 Котушки головних полюсів**

Котушки ТЕД постійного струму з послідовним збудженням звичайно виконують із голої шинної міді, які намотують на шаблоні горизонтальними шарами по спіралі виток до витка. На рис. 29 показана тривимірна модель. Вона має східчасту форму й складається з двох шарів, розташованих один над іншим. Як ізоляція між витками служить азбестовий папір, що у процесі намотування котушки змотується з ролика, встановленого під шаблоном. Товщина стрічки 0,35 мм, а ширина її на 1÷2 мм більше ширини мідної смуги.

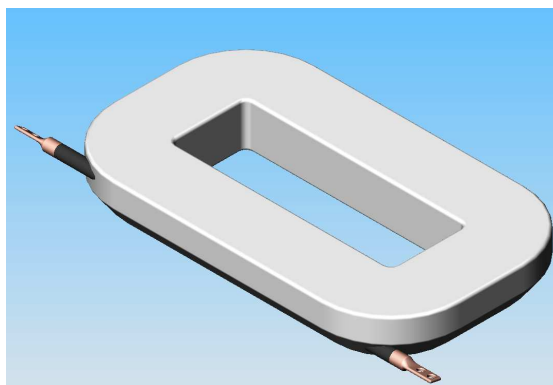


Рис. 29 – Тривимірна модель і поперечний розріз котушки головного полюса

Щоб побудувати тривимірну модель послідовної котушки головного полюса, необхідно насамперед знати розміри прямокутної шини, з якої вона буде навіта, кількість витків у верхньому і нижньому шарі, геометричні параметри ізоляційних матеріалів, розміри вивідного кабелю.

Спочатку намотують один шар котушки, потім до кінця шини, що до початку намотування загинається на ребро, приварюють кінець шини від бухти, шаблон перевертають у верстаті й намотують другий шар. Шари відокремлюють один від одного прокладкою товщиною близько 2 мм, склеєною із гнучкого міканіту з азбестовим папером. Останній виток закріплюють скобою з жерсті (рис. 30) і відрізають шину від бухти.

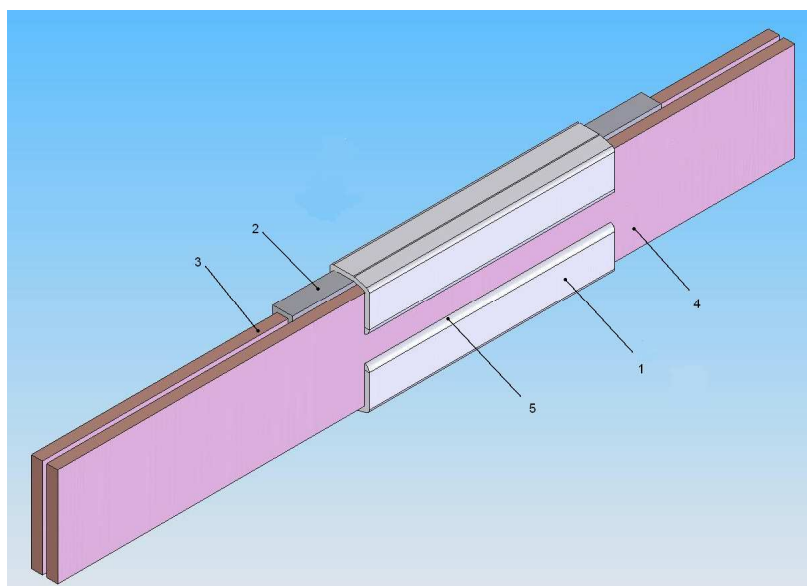


Рис. 30 – Закріплення останнього витка котушки

*1 - скоба бляшана; 2 - прокладка ізоляційна; 3 - передостанній виток;  
4 - останній виток; 5 - припій;*

Скобу 1 ізолюють прокладками 2, підкладають під передостанній виток 3 і після намотування котушки її припаюють до останнього витка 4 припоєм 5 (рис. 30). До першого й останнього витків, які виявляються зовні котушки, приварюють вивідні кабелі (рис. 31).

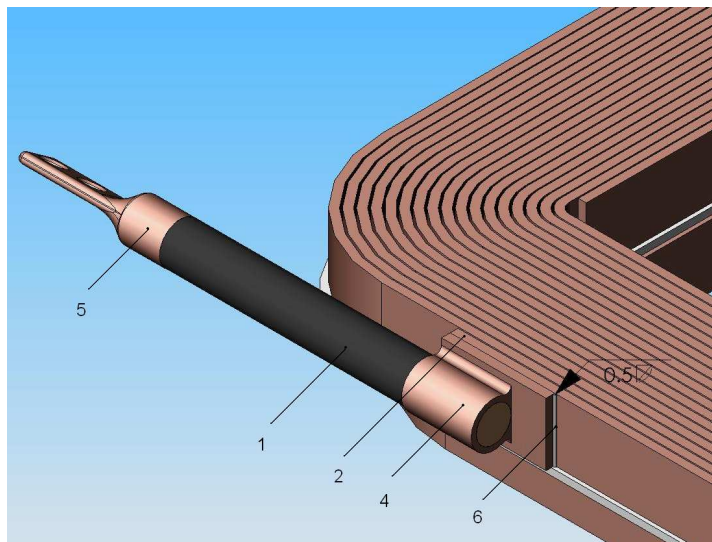


Рис. 31 – Кріплення вивідного кабеля

Вивідні кабелі 1 з'єднують з кінцями обмотки 2 до накладення корпусної ізоляції 3 на котушку. Вивідний кабель припаюють у вивідну мідну скобу 4 товщиною 2-3 мм, приварену мідно-фосфористим припоєм 6 (ПМФ) до останнього витка. На кабелі, що виходять з котушки, напаюють трубчасті наконечники 5. Таку конструкцію виводів застосовують у багатьох тягових двигунах.

Для визначення товщини котушки треба суму товщин мідних шин й ізоляційних матеріалів у шарі помножити на коефіцієнт розпушення  $\alpha_2$ . Цей коефіцієнт вибирають залежно від товщини шини. При товщині шини 0,3÷1,16 мм  $\alpha_2 = 1,2$ ; при товщині 1,25÷1,95 мм  $\alpha_2 = 1,1$  і вище 2,1 мм  $\alpha_2 = 1,06$ . Розмір двохшарової котушки за шириною також залежить від товщини зовнішньої ізоляції з урахуванням просочення. Розмір за висотою визначається сумою двох висот міді плюс 1 мм на виступання прокладок міжвиткової ізоляції, товщиною прокладки між шарами й зовнішньою ізоляцією з урахуванням просочення. Порожнечі 12 (рис. 32), утворені між верхнім і нижнім шарами й обумовлені необ-

хідною конфігурацією котушки, заповнюють замазкою або забивають дерев'яними клинами.

У машинах змішаного збудження котушки головних полюсів складаються з котушок послідовного 4 і паралельне збудження 5. Котушки послідовного збудження у машинах змішаного збудження виконують із прямокутної шини в один шар. Котушки паралельного збудження виконують із круглої ізолюваної міді. Розміри котушки визначають за площею зайнятою її ізольованими витками з урахуванням розпушення (10% на площу).

При круглій станині котушку паралельного збудження роблять із уступами для кращого використання обмотувального простору. Однак кількість уступів прагнуть зробити можливо меншою. Вільні місця в уступах заповнюють клинами або замазкою.

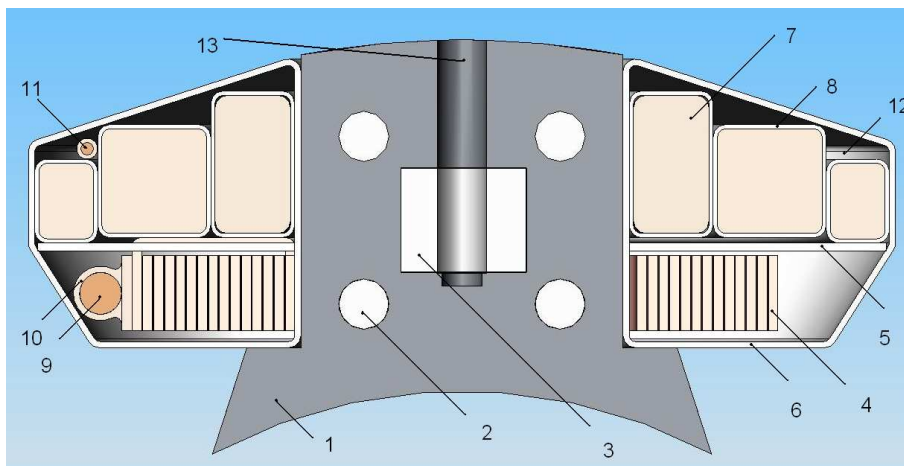


Рис. 32 – Головний полюс ТВД (збудження змішане, з перевагою МРС шунтової обмотки)

1 - осердя головного полюса; 2 - стягуюча шпилька; 3 - прямокутний стрижень;  
4 - серісна обмотка; 5 - міканітова прокладка; 6 - корпусна ізоляція;  
7 - шунтова обмотка; 8 - віткова ізоляція; 9 - вивідний кабель; 10 - вивідна скоба;  
11 - вивідний провідник; 12 – порожнечі, утворені укладанням обмоток;  
13 - отвір під болт кріплення ГП до станини

При розрахунках розміру котушки за висотою необхідно враховувати місце для розміщення вивідних скоб від внутрішнього витка котушки й ізоляцію цих скоб. Між котушками послідовного й паралельного збудження ставлять

прокладку. Крім того, котушку паралельного збудження частково ізолюють. Котушки з припаяними й укріпленими виводами вирівнюють прокладками до заданого розміру й на них кладуть один шар у стик стягуючої стрічки. На котушки з ізоляцією класу *B* накладають тимчасовий шар кіперної стрічки й просочують компаундом. Після компаундування знімають із котушки тимчасову кіперну стрічку, внутрішню поверхню котушки натирають парафіном і обпресовують при температурі не нижче 50°C, нерівності вирівнюють замазкою і накладають основну ізоляцію з мікаленти типу ЛФЧП товщиною 0,17 мм у напівнапуска.

Кількість шарів визначають необхідною товщиною залежно від напруги. Поверх основної ізоляції кладуть один шар у напівперекришу покривної стрічки, захищає від механічних пошкоджень основної ізоляції. Далі котушку обертають тимчасовою кіперною стрічкою і піддають другому компаундуванню. Після цього з котушки знімають тимчасову кіперну стрічку, очищають її від напливів компаунда, внутрішню частину змазують парафіном й обпресовують. Далі котушку фарбують й обробляють. Зовнішній вигляд котушки представлений на рис. 33, а в лівій частині рисунка показане дерево конструювання тривимірного складання котушки.

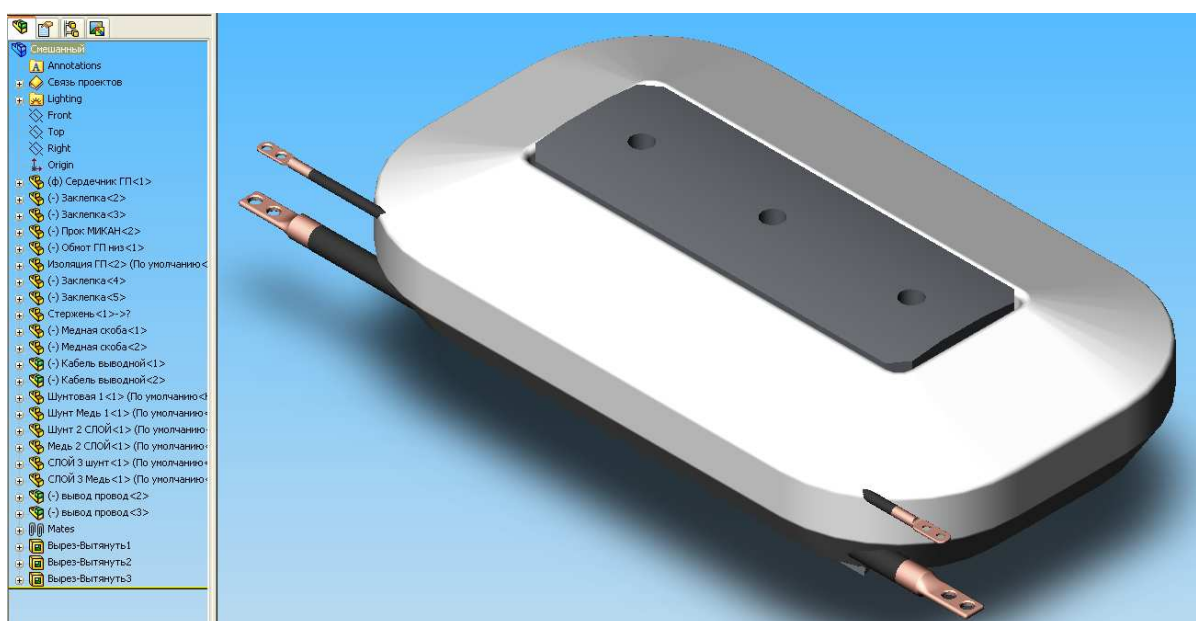


Рис. 33 – Котушка головного полюса змішаного збудження

## 4.6 Проектування додаткових полюсів

Додаткові полюси служать для поліпшення комутації ТЕД. Котушки обмотки збудження додаткових полюсів з'єднують послідовно з обмоткою якоря. Після з'єднання з якорем початок і кінець обмоток додаткових полюсів виводять назовні.

### 4.6.1 Осердя додаткових полюсів

Осердя додаткових полюсів звичайно відливають зі сталі марки 25Л або роблять із кувань. Одна з найбільш доцільних форм додаткового полюса показана на рис. 34. Для забезпечення надійного кріплення котушки ширина наконечника полюса  $b_{доб}$  і осердя  $b_{т\,доб}$  зв'язані співвідношенням

$$(b_{доб} - b_{т\,доб}) \geq 10 \text{ мм.} \quad (5)$$

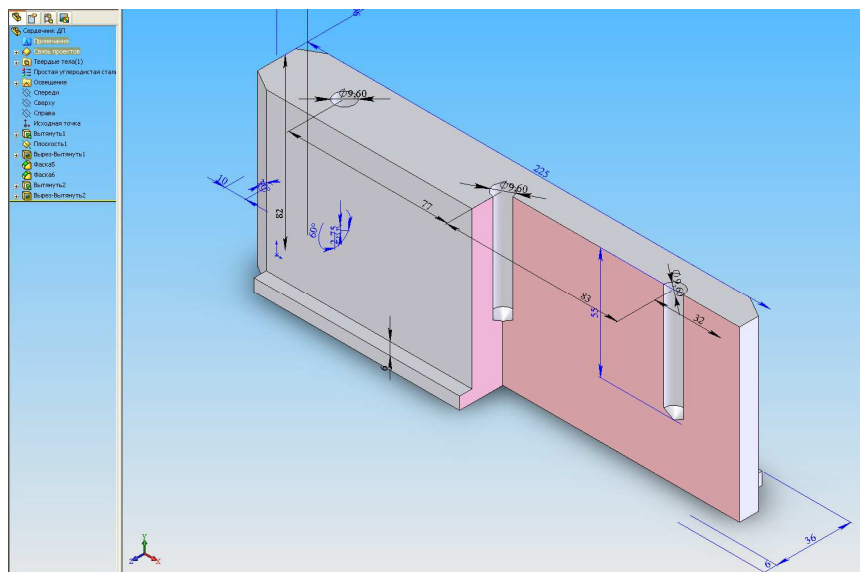


Рис. 34 - 3-D модель осердя додаткового полюса

Висоту наконечника полюса прийняли  $h_{н.доб} = 5 \div 6$  мм. Якщо при номінальному режимі індукція в осерді додаткового полюса, подовженого на 4÷5 см, перевищує  $B_{т\,доб} > 1,0$  Тл, то застосовують полюс із латунними наконечниками. У цьому випадку ширина осердя додаткового полюса перевищує ширину наконечника. Ця конструкція більше складна, але при високих додаткових полюсах знаходить широке застосування.



#### 4.6.2 Котушки додаткових полюсів

Котушки додаткових полюсів звичайно виготовляють із прямокутної неізолюваної міді 2 з намотуванням її на ребро (рис. 35). Намотування на ребро здійснюють на спеціальних верстатах з обертально-поступальним рухом.

Мідну шину спочатку намотують у вигляді спіралі, яку потім розріжуть на частини відповідно до числа витків у котушці. Далі мідь віджигують, ставлять на оправлення, під кожен виток з боку закруглень кладуть сталеві пластини й пресують котушку до номінальної товщини міді на внутрішньому радіусі закруглення.

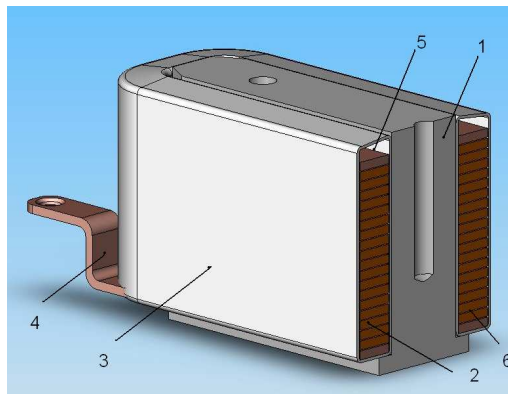


Рис. 35 – 3-D модель додаткового полюса

*1 - осердя додаткового полюса; 2 - мідна котушка; 3 - зовнішня ізоляція;*

*4 - вивідний кабель; 5 - порожнечі, утворені розміщенням обмотки;*

*6 - міжвиткова ізоляція*

Потім виводи припаюють, зачищають заусенці, прокладають між витками ізоляцію 6 й обрізають її по контурах котушки, ставлять усередину котушки пристрою і стягають її. Далі котушку просочують, випікають, припаюють і закріплюють вивідні кабелі 4 і накладають зовнішню ізоляцію 3 аналогічно накладенню ізоляції на котушки головних полюсів.

Розмір котушки, намотаний на ребро, визначають за висотою як суму товщини міді 2 й ізоляції між витками 6 і зовнішньої ізоляції 3 з урахуванням просочення, а також вивідних кабелів 4. При круглій станині розмір котушки за висотою визначають без урахування вивідних кабелів, тому що вони розташовуються з торця, де котушка може бути зроблена вище за рахунок зазору між

катушкою і станиною. Ширина катушки визначається шириною міді плюс 0,5 мм на виступаючу міжвиткову ізоляцію і зовнішню ізоляцію з урахуванням просочення.

У сучасних машинах станини обробляють під прилягаючі сторони катушок головних і додаткових полюсів, а катушки притискають за допомогою спеціальних пружинних фланців, які забезпечують гарну віддачу тепла через корпус двигуна. Для головних катушок головних полюсів застосовують цільні фланці зі сталі 45 з термообробкою товщиною 2-3 мм із відігнутими на 2 мм площинами. На рис. 36 представлено фотореалістичне зображення пружинного фланця, отримане програмним способом по тривимірній моделі.

Притискні фланці, поставлені між катушками й осердями полюсів, під дією зтяга полюсів випрямляють свої опорні поверхні, роблячи тим самим пружну дію, і щільно закріплюють катушки на полюсах.

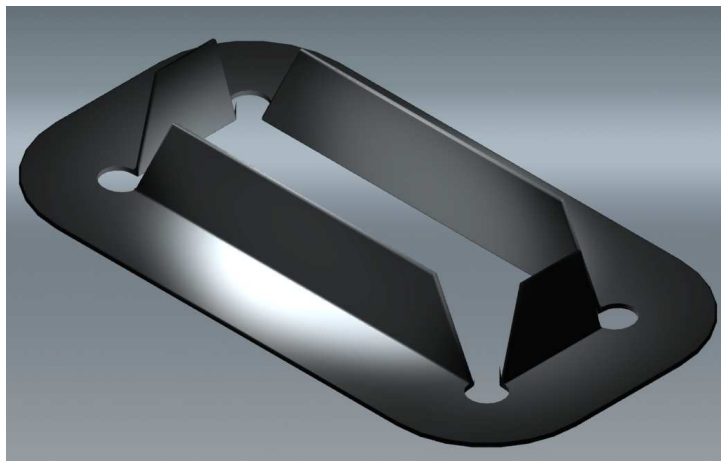


Рис. 36 – Фланець пружинний

Застосовують також ізоляцію типу «моноліт». Катушку, встановлену на полюс, заливають смолою, запікають разом з полюсом й одержують моноблок. При такій ізоляції не потрібно ставити пружні й опорні фланці. Однак у серії ТЕД для міського транспорту з метою спрощення технологічного процесу між кістяком і катушками при застосуванні ізоляції «моноліт» передбачається зазор 8...12 мм. У цьому разі не потрібна обробка кістяка під поверхні катушок головних і додаткових полюсів.



## 4.7 Станина

Більшість сучасних великих тягових двигунів із числом полюсів  $2p=4$  будують з восьмигранною станиною. Така форма станини дає можливості найбільш ощадливого розміщення полюсної системи й дозволяє мати більший діаметр якоря. Для машин з числом полюсів  $2p=6$  і більше застосування багатогранної станини вже не дає практично виграшу в просторі, тому такі машини будують із круглими станинами. З міркувань технологічного порядку ряд чотирьохполюсних машин будують також з круглими станинами (рис. 37). При незалежній підвісці на станині двигуна передбачають спеціальні приливи (іноді приварні), за допомогою яких двигуни встановлюють на електрорухомому складі.

Станина може відливатися зі сталей типу 25Л або бути зварена з товстих листів конструкційної сталі. Станина є одночасно магнітопроводом. Тому товщина її в середніх частинах, де проходить магнітний потік, визначається за його величиною й виходить іноді більше, ніж це було потрібно б за умовами механічної міцності. У колекторній камері товщина станини 15-20 мм. Така ж товщина й в інших частинах станини, де не проходить магнітний потік.

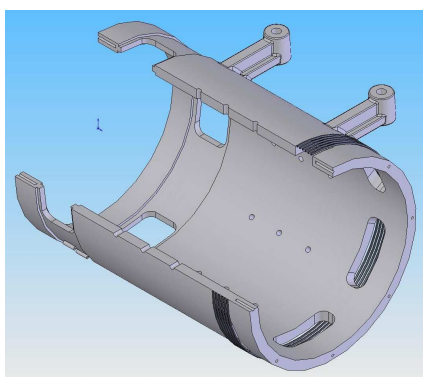


Рис. 37 – Циліндрична станина тягових електродвигунів

Тривимірна модель станини тягового електродвигуна ТЄ-022 представлена на рис. 38, а в лівій його частині - дерево побудови.

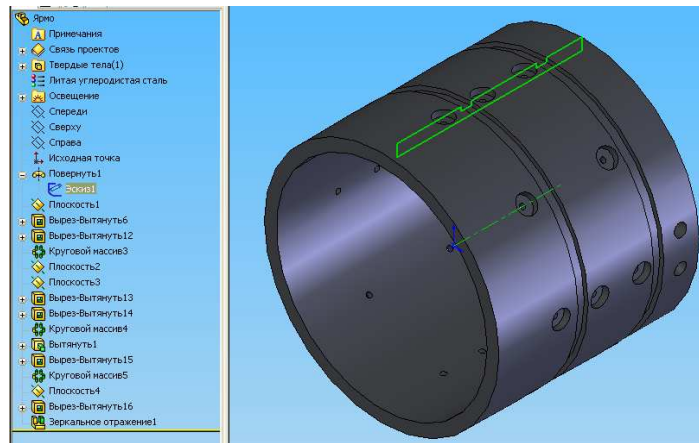


Рис. 38 – Порядок побудови 3D-моделі станини ТЕД ТЄ-022

У чотириполюсних двигунах з восьмигранними станинами головні полюси розташовують майже завжди по вертикалі - горизонталі. Це забезпечує краще використання поперечного габариту, тому що додаткові полюси мають малу ширину. Щітки також розташовують по вертикалі - горизонталі. Для їхнього огляду й зміни роблять два косих люки, що забезпечують через кожний люк доступ до двох щіткотримачів. Люки закривають знімними кришками й щільно притискають замками. Машини з круглою станиною для міського транспорту при  $2p=4$  виконують із розташуванням головних полюсів під кутом  $45^\circ$  до вертикалі. Це дозволяє більш зручно розташувати колекторні люки - один угорі, інший знизу. Розташування й розміри оглядових люків мають важливе значення з погляду зручностей обслуговування двигуна (рис.37 та 39). Їх слід робити, можливо, ширше й довше, забезпечивши вільний доступ до них при конструюванні електрорухомого складу.

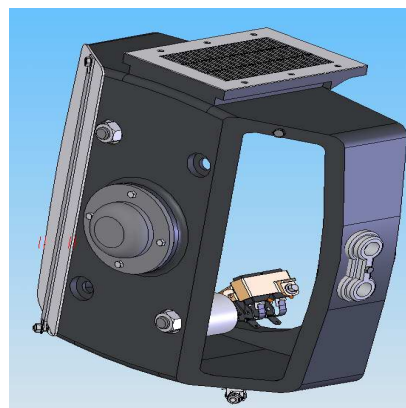


Рис. 39 – Розташування колекторних люків на тяговому двигуні

#### 4.8 Охолодження тягового двигуна

Втрати в міді й сталі, а також додаткові втрати нагрівають обмотки двигуна й обмежують його потужність у годинному й тривалому режимах. Для запобігання надмірному підвищенню температури обмоток ТЕД застосовують штучне охолодження їх потоком повітря. За типом вентиляції тягові двигуни розрізняють із незалежною вентиляцією і самовентиляцією. При незалежній вентиляції холодне повітря надходить від спеціального вентилятора, звичайно загального для всіх ТЕД, що приводиться у рух окремим електродвигуном. Інтенсивність вентиляції може бути досить високою і не залежати від режиму роботи ТЕД.

Для входу й виходу холодного повітря у станині двигуна або підшипникових щитів передбачають спеціальні люки й отвори. Вхідний люк звичайно роблять у колекторній камері, вихідні отвори - з протилежної сторони. Конструктивне виконання підшипникових щитів ТЕД подано на рис. 40.

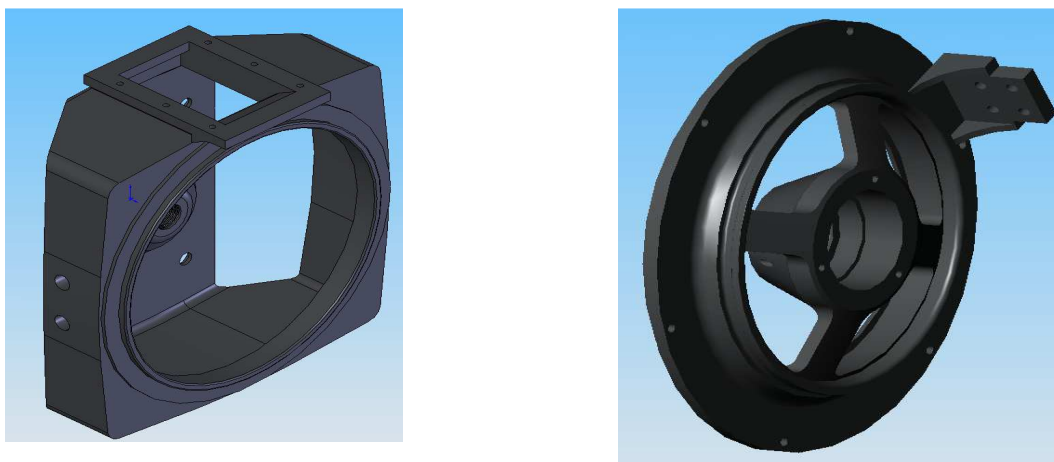


Рис. 40 – Конструктивне виконання підшипникових щитів тягового електричного двигуна ТЕ-022

Така вентиляція більш досконала, але складна й дорого коштує, тому на рухомому складі міського транспорту не знаходить широкого застосування. При самовентиляції вентилятор є невід'ємною частиною двигуна й називається вбудованим. З конструктивних міркувань вбудований вентилятор зручніше

розташовувати з протилежного боку колектора (рис. 41). При цьому щіткотримачі кріплять на передньому підшипниковому щиті 5, а вентилятор 3 – на валу якоря з боку заднього підшипникового щита 4. Для надходження повітря зверху з-під кузова, де відносно менше пилу, до переднього підшипникового щита кріплять вхідну камеру 6.

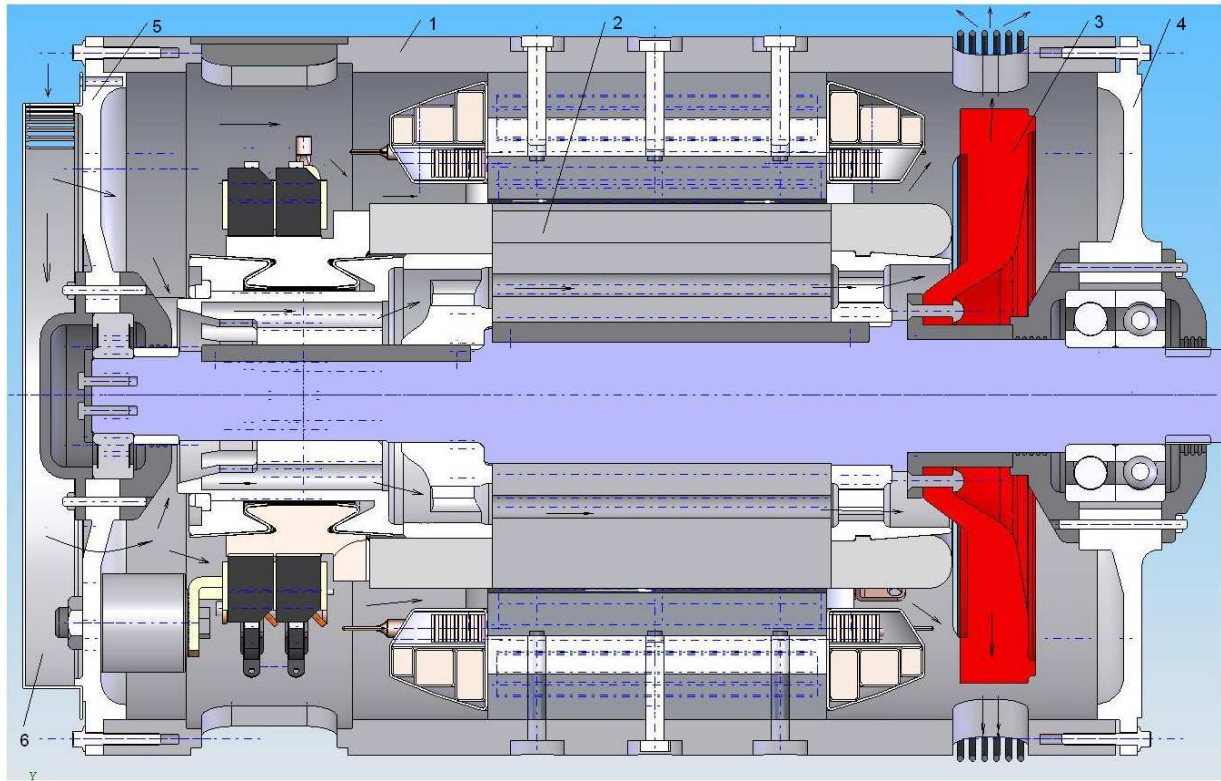


Рис. 41 – Схема вентиляції тягового електричного двигуна:

*1- станина; 2 – якір; 3 – вентилятор;*

*4 й 5 - задній і передній підшипниковий щит; 6 - вхідна камера*

Вентильоване повітря надходить через отвори у верхній частині вхідної камери. Далі через отвори в передньому підшипниковому щиті повітря надходить у ТЕД двома паралельними потоками. Один потік йде через внутрішні канали осердя якоря 2, іншої через повітряний зазор і зазори між котушками збудження головних і додаткових полюсів і далі вентилятором 3 викидається назовні через радіальні канали в корпусі 1 двигуна. Вихідні отвори, так само як і вхідні, прикриті сітками, які захищають двигун від влучення в нього великих предметів.

#### 4.9 Складання магнітної системи (індуктора)

До складу індуктора входять станина, головні й додаткові полюси з котушками порушення й міжкотушкові з'єднання (рис. 42). У двигунах, розрахованих на великі струми, розміщення внутрішніх з'єднань у машині є складним завданням. З цією метою котушки й щіткотримачі прагнуть з'єднувати, по можливості, короткими кабелями так, щоб з'єднання не збігалися один з одним і щоб їх було зручно прикріпити до спеціальних скоб, приварених до станини. Котушки звичайно роблять з різною довжиною виводів кабелів, що допомагає розрізняти їхню полярність. Крім того, кожен котушку випускають зі своїм номером: котушку головних полюсів - з парним номером, а додаткових - з непарним.

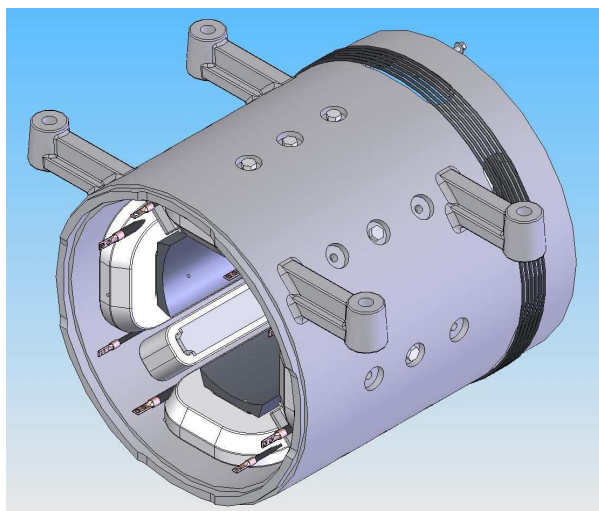


Рис. 42 – Складання індуктора

Складання індуктора завершується з'єднанням котушок між собою, приєднанням до котушок вивідних кабелів й ізоляцією міжкотушкових з'єднань. Кабелі з наконечниками з'єднують двома болтами й пластиною-гайкою, болти стопорять шайбою стопорною, нерівності замазують замазкою й ізолюють з'єднання просоченою кіперною стрічкою. Потім накладають лакотканину діагонального різання і кожен шар промащують лаком, зверху накладають кіперну стрічку або липку склоленту. Кабелі виводять через гумові втулки.

#### 4.10 Щіткотримачі

За натискним пристрем щіткотримачі розрізняють з спіральними й гвинтовими пружинами. У ТЕД міського електричного транспорту застосовують щіткотримачі зі спіральними пружинами.

Щіткотримач складається з двох основних вузлів: кронштейна й корпуса щіткотримача 1 (рис. 43). Кронштейн виконують зі сталевого виливка з отвором, в яке разом з ізоляцією впресована шпилька 3 для кріплення кронштейна до підшипникового щита гайкою. Латунний корпус 1 щіткотримача має гнізда для щіток і натискний пристрій для забезпечення тиску на них.

Натискний пристрій виконаний зі спіральною пружиною і храповим механізмом для регулювання тиску на щітку. З однієї сторони пружина утримується шпилькою, з іншої входить у поздовжній проріз барабана храповика, утримуваного собачкою на обоймі.

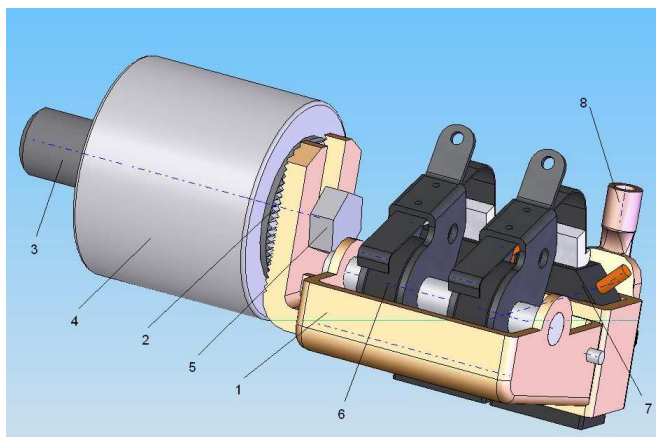


Рис. 43 – Щіткотримач з спіральною пружиною тягового двигуна ТЄ-022:

На ізоляцію пальця ставлять порцеляновий ізолятор 4, що захищає від пробоя між кронштейном і корпусом ТЕД. У ТЕД міського транспорту пальці в кронштейни запресовують на пластмасі, наприклад на „ізодіні” (здрібненому паперу зі смоляним наповнювачем). Корпус щіткотримача до кронштейна кріплять звичайно одним болтом 5. Поверхні зіткнення їх рифлені, чим досягається надійність з'єднання (фіксації) однієї деталі щодо іншої.



#### 4.11 Підшипники якоря

У тягових двигунах міського транспорту використовують як роликові, так і кулькові підшипники. У ТЕД великої потужності використовують тільки роликові підшипники. З боку приводу ставлять вільний підшипник, з протилежного – замкнений, що сприймає аксіальні сили. Виключення становлять тролейбусні ТЕД з карданним приводом і шліцьовим з'єднанням у кардані. Тут з боку приводу ставлять упорний підшипник, що сприймає більші аксіальні сили, які можливі при дії шліцьового з'єднання карданного вала.

Важливим елементом конструкції у підшипникових вузлах є пристрій ущільнення, необхідний для запобігання влученню змащення у двигун або витікання назовні. В якірних підшипниках застосовують консистентне змащення, однак при роботі двигуна воно може частково або повністю переходити в рідку фазу і коли не вжити заходів, то може викидатися за межі підшипникового вузла. На рис. 44 показане гідравлічне ущільнення, що широко застосовується в ТЕД через свою технологічну простоту.

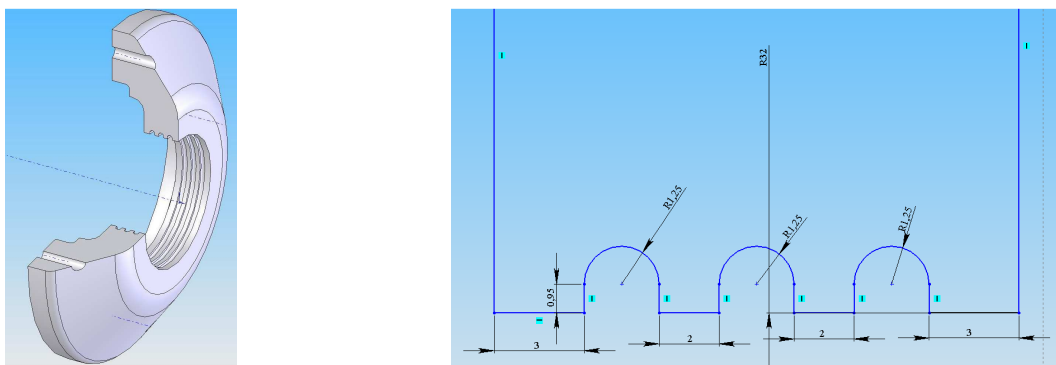


Рис. 44 – Гідравлічне ущільнення

Рідке мастило, потрапляючи в канавки, втрачає швидкість (через розширення перерізу шляху руху), відкидається відцентровою силою на дно канавки, де густіє і застигає.

Посадку внутрішніх втулок 1 під ущільнення 2 роблять з допуском легко пресової (Пл) або пресової (Пр), а посадку зовнішніх втулок 4 під ущільнення 3 роблять з допуском пресової (Пр) або гарячої (Гр.). Монтаж їх ведуть з попере-

днім підігрівом для полегшення посадки їх на вал (рис.45). Обробку вала під посадку внутрішнього кільця роликopідшипника 5 виконують з певною шорсткістю поверхні з допуском глухої посадки першого класу ( $G_1$ ), для невеликих ТЕД і допоміжних електричних машин – з допуском тугої посадки ( $T$ ).

Внутрішнє кільце підшипника також має спеціальні допуски, тому фактично посадка при обробці вала по допуску  $G_1$  відповідає приблизно легкопресовій посадці ( $Pl$ ). Така посадка забезпечує досить надійне кріплення підшипника на валу. Шарикopідшипники одягають на шийку вала, яка оброблена з допуском напруженої посадки ( $H$ ). Шарикopідшипники й внутрішні кільця роликopідшипників надягають на вал у гарячому стані.

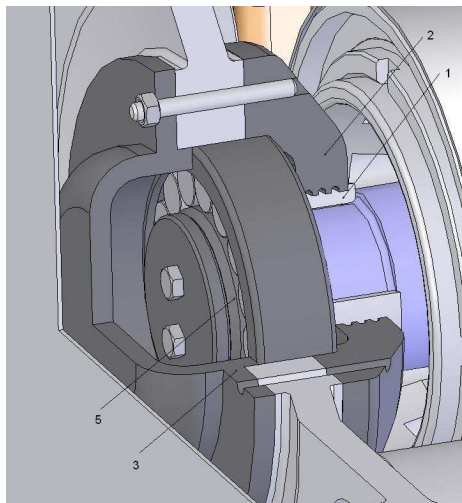


Рис. 45 – Підшипниковий вузол передній:

1 – внутрішня підлабіринтна втулка; 2 – внутрішнє лабіринтове ущільнення; 3 – зовнішня кришка підшипника; 5 – внутрішнє кільце роликopідшипника

Підшипникові щити центрують в горловинах станини з тугою ( $T$ ), а у великих двигунах із глухою ( $G$ ) посадками. Ширина активної посадкової поверхні без урахування фасок становить 8...20 мм залежно від величини моменту двигуна.



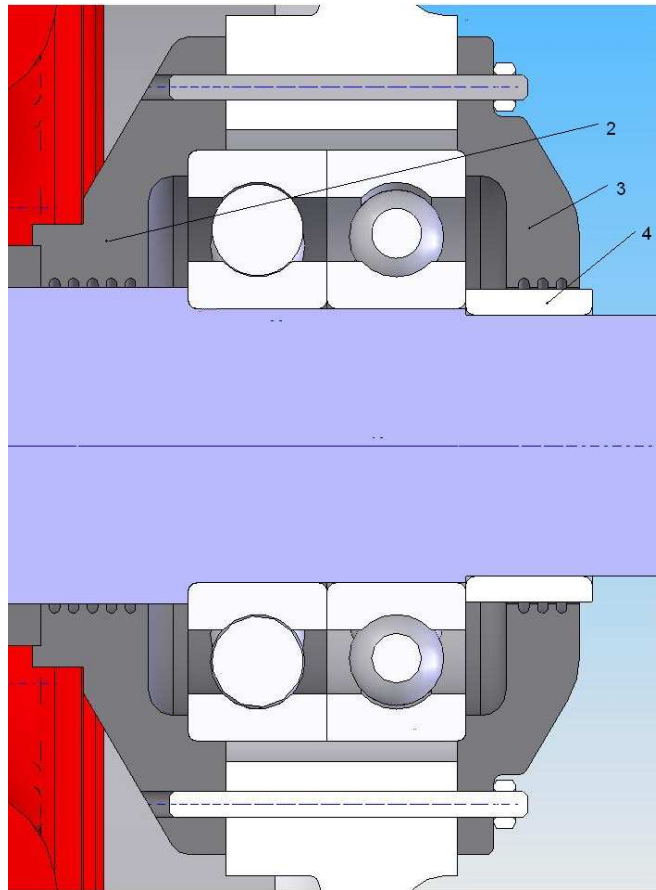


Рис. 46 – Підшипниковий вузол задній:

*2 - внутрішнє лабіринтове ущільнення; 3 - зовнішнє лабіринтове ущільнення;*

*4 - зовнішня подлабіринтна втулка*

Розмір болтів рекомендують брати від М12 до М30, число болтів – 4...6 з боку приводу й 4 з протилежної сторони. Кришки підшипникових щитів центрують у заточеннях щитів або на зовнішнім кільці підшипника з ковзною посадкою (3).

Для демонтажу щитів передбачають 2...3 віджимні отвори, з різьбою під болти. Якщо вкрутити болти у ці отвори, поступово випресовують щит з горловини станини. Такі ж відтискні отвори передбачені і в кришках підшипників. Демонтаж підлабіринтних втулок і внутрішніх кілець роликів підшипників виконують спеціальними струбцинами (стяжками) або за допомогою індукційного нагрівання.

#### 4.12 Загальне складання тягових електричних двигунів

Тягові електродвигуни для міського електричного транспорту утворюють єдину серію тому, що вони мають багато однакових деталей і вузлів, які відрізняються потужністю, напругою, підвіскою на рухомому складі й деяких інших деталях.

Використовуючи розроблені в попередніх розділах 4.1- 4.12 тривимірні моделі деталей і вузлів тягового електричного двигуна, виконаємо віртуальне 3-D складання. Складання складається з декількох сотень 3D-деталей. Між ними проставлені зв'язки, так що при зміні конфігурації деталі 3D-складання реагує на зміну й попереджає користувача про необхідність перешикувати складання відповідно до поточного стану деталей які входять у зборку. Для того, щоб охарактеризувати конструкцію спроектованого ТЕД, зробимо вирізання чвертей деяких деталей двигуна. У результаті виконаної роботи, 3D-складання прийме зовнішній вигляд, поданий на рис. 47.

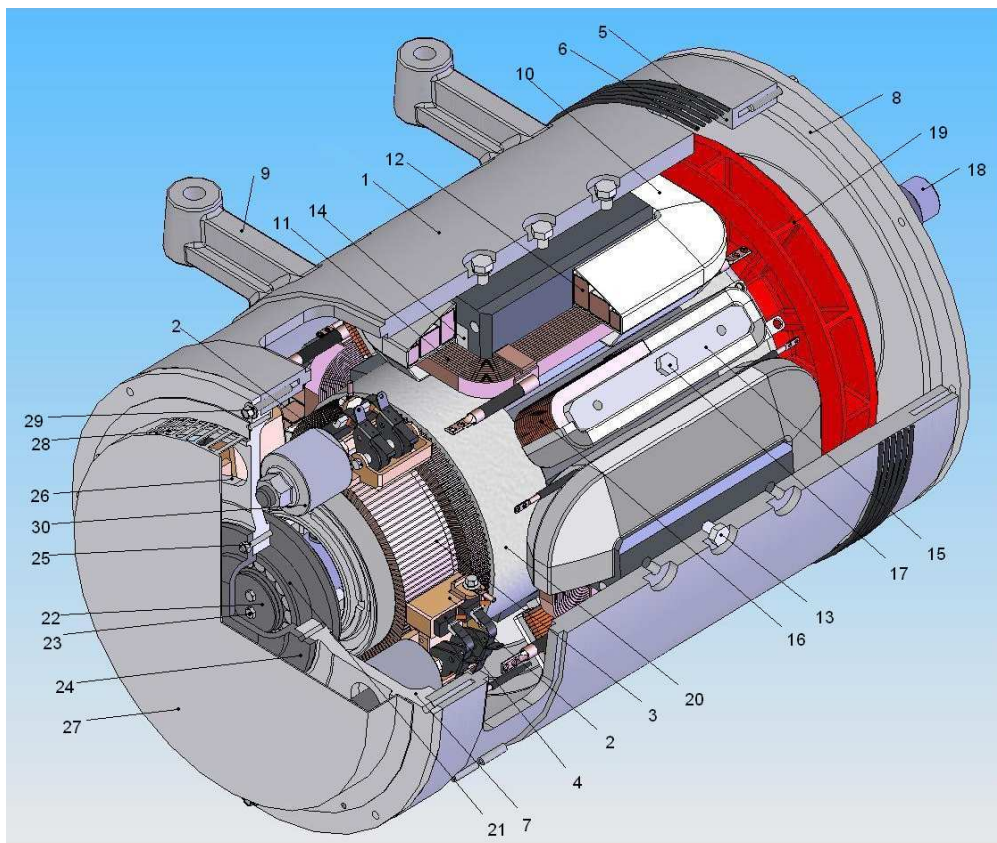


Рис. 47 – Загальний вигляд тягового електродвигуна ДК-210

Станину 1 циліндричної форми відливають із сталі марки 25Л. У станині є верхній і нижній люки для огляду щіткотримачів 2, колектора 3 і заміни щіток 4. Верхній і нижній люки закривають кришками, притискають їх до станини замками. Вікна 5 для виходу повітря, що вентилює, захищені від попадання у двигун великих предметів тонкими сталевими *стрижнями* 6, привареними до станини. Торцеві й внутрішні циліндричні частини станини оброблені для щільної посадки підшипникових щитів 7 і 8. Станина має чотири припливи (кронштейна) 9 з отворами для кріплення двигуна на рамі.

Чотири головних полюси 10 з котушками змішаного збудження (серійна обмотка 11 і шунтова обмотка 12) кріплять до станини болтами 13, вкрученими у стрижень 14, що служить гайкою і забезпечує необхідну твердість осердя полюса, спресованого з листової сталі. Під всі болти ТЕД підкладають пружні шайби для запобігання розкручуванню, яке можливе при трясці й ударах під час руху. Для захисту від вологи гнізда для головок болтів у верхній частині станини заливають мастикою. Чотири додаткових полюси 15 з котушками 16 кріплять до станини болтами 17. Котушки головних і додаткових полюсів мають ізоляцію типу «моноліт».

На вал якоря 18 напресовують вентилятор 19, колектор 3, натискні шайби (обмоткотримачі), які стискають сталевий пакет (див. рис. 12). Пакет має пази для розміщення обмотки якоря і вентиляційних каналів (див. рис.11). Обмотка якоря хвильова, у пазовій частині кріпиться за допомогою клина, а в лобових частинах кріпиться за допомогою бандажів 20 зі склоленти.

Якір установлюють у підшипникових щитах 7 й 8. У передньому щиті 7 зміцнюють роликовий підшипник 21 з вільною посадкою, який сприймає тільки радіальні навантаження. Внутрішнє кільце підшипника, насаджене на вал, з торців затискають між підлабірінтною втулкою і шайбою 22. Шайбу 22 прикручують до вала якоря 18 двома болтами 23, які фіксують шайбою, що стопорить. Зовнішнє кільце підшипника 21 з торців затискають між щитом 7 і кришкою 24, привернутою до щита чотирма шпильками 25. Підшипник 21 і частково камеру заповнюють змащенням. У щиті 7 є чотири отвори 26 (вікна) для входу повітря,

що вентилює, а між ними - чотири отвори для шпильок кронштейнів щіткотримачів. Для захисту від влучення великих предметів у двигун разом з повітрям, щит 7 закривають кришкою 27 з отворами 28 для проходу повітря. Щит 7 фіксують у станині 1 за допомогою шести болтів 29.

Щіткотримачі 2 установлюють на кронштейнах 30 на відстані  $3 \pm 1$  мм від поверхні колектора 3. У міру зношування колектора щіткотримач переміщають щодо кронштейна так, щоб витримати зазначену вище відстань між щіткотримачем і колектором.

Внутрішні з'єднання щіткотримачів однієї полярності між собою і з котушками додаткових полюсів, а також з'єднання котушок головних полюсів між собою не показані. Всі внутрішні з'єднання котушок виконані з боку колектора. Виводи від обмоток додаткових полюсів (якоря) і обмотки паралельного збудження розташовують з боку колектора, з'єднання котушок послідовного збудження між собою і виводи обмотки збудження виконують із боку приводу.

#### **4.13 Створення фотореалістичного зображення електричних машин**

У цьому розділі наводиться інформація з використання програмного забезпечення *Photo Works* для створення реалістичних зображень моделей *Solid Works* з фотографічною якістю. Доступ до всіх засобів керування інтерфейсом візуалізації *Photo Works* у рядку основного меню *Solid Works* або через панель інструментів «*Photo Works*». Цей рядок меню відображається щоразу, коли відкритий документ деталі або зборки *Solid Works*.

Матеріали використовують у програмі *Photo Works* для задання таких властивостей поверхні моделі, як кольори, текстура, коефіцієнт відбиття й прозорість. Вибір і композицію матеріалів виконують за допомогою *редактора матеріалів Photo Works*. Програма *Photo Works* поставляється з більшою кількістю архівів попередньо певних матеріалів (метал, пластик, дерево, камінь і т.д.), які можна приєднувати й зберігати з окремими деталями й поверхнями *Solid Works*. Сцени *Photo Works* надають реалістичну й фотографічну вірогідність спроектованої моделі. Кожна модель *Solid Works* зв'язується зі сценою *Photo Works*, для якої можна задати такі властивості, як висвітлення, тіні й фон.

Програма *Photo Works* має гнучкий інтуїтивний інтерфейс для вибору й редагування матеріалів, дозволяє швидко й просто вказати для моделей *Solid Works* такі властивості поверхні, як кольори, текстура, коефіцієнт відбиття й прозорість.

У *Photo Works* є помічник, що містить інструкції з основних кроків, що вживають для створення реалістичного фотозображення. До основних кроків відноситься вибір властивостей матеріалу й сцени *Photo Works*.

На рис. 48 й 49 показано фотореалістичне зображення тягових електродвигунів ТЄ-022 і ДК-210А-3, які спроектовані за допомогою системи CAD/CAM.

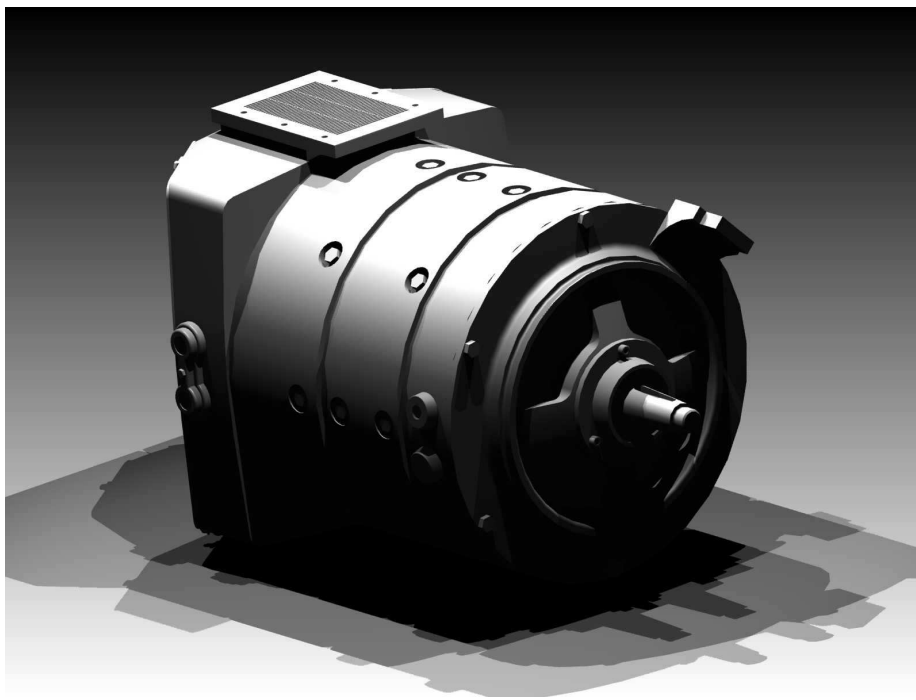


Рис. 48 – Фотореалістичне зображення тягового електродвигуна ТЄ-022



Рис. 49 – Фотореалістичне зображення тягового електродвигуна ДК-210А-3

Використовуючи можливості графічних пакетів системи CAD/CAM можна без особливих труднощів відповісти на запитання, а що ж перебуває під станиною тягового двигуна? Керуючи видимістю деталей вхідних у тривимірне складання, досить навести курсор на деталь, під якою необхідно заглянути, натиснути праву клавішу й у контекстному списку, що відкрився, вибрати *опцію* Сховати. Результат описаної операції представлений на рис. 50.

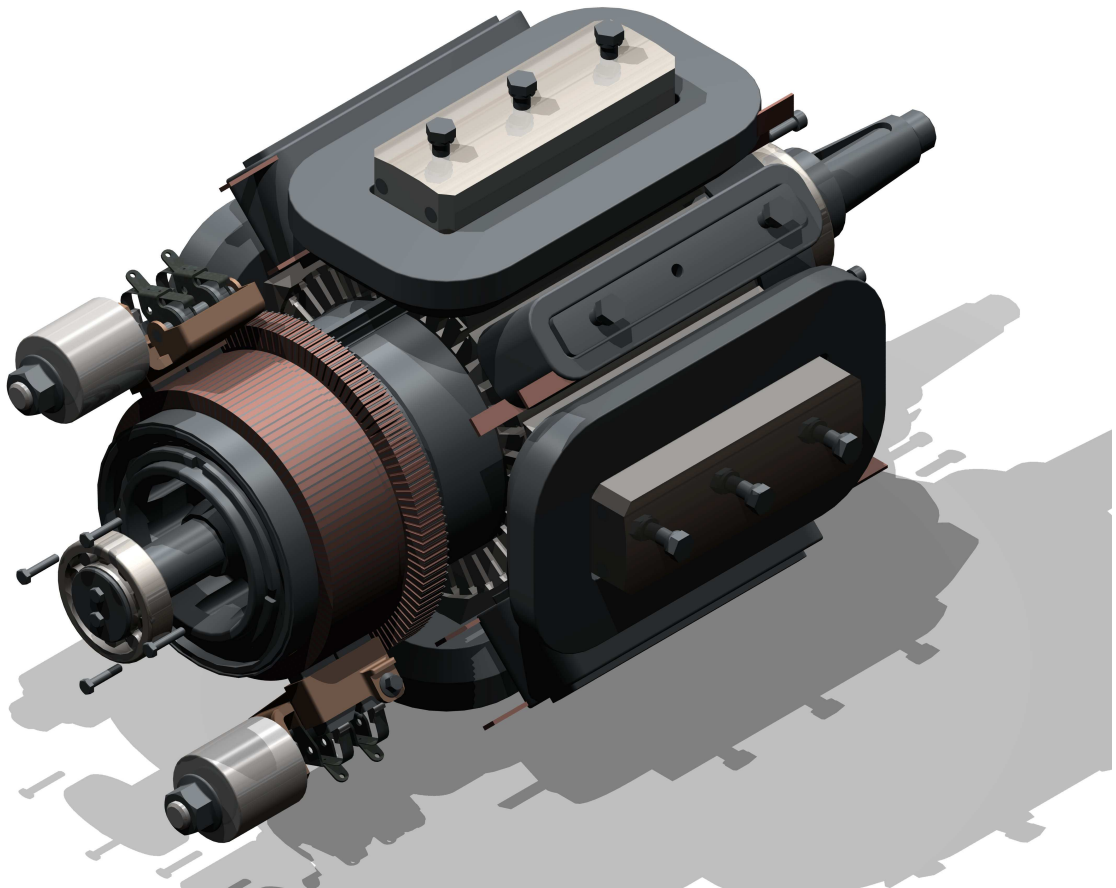


Рис. 50 – Віртуальне зображення деталей і вузлів тягового електродвигуна ТЄ-022



## **5. Оптимізація конструкцій та характеристик електричних машин**

Оптимізація двигуна – процес знаходження оптимальних, тобто якнайкращих в певному значенні, його параметрів або структури. Завдання вибору оптимальної структури двигуна, або структурна оптимізація, полягає у виборі конструкцій окремих вузлів і елементів, числа цих елементів і взаємозв'язку між ними, у визначенні просторового розташування цих елементів. Наприклад, може бути вибрана конструкція двигуна з компенсаційною обмоткою або без неї, з хвильовою або петлевою обмоткою якоря, з шихтованим або нешихтованим ярмом остову і т.д. Вибір оптимальної для даних умов роботи структури машини є дуже важливим питанням, але і що найбільш важко піддається формалізації, тому він здійснюється на основі досвіду, знань і інтуїції конструктора без залучення математичного апарату.

Важливим напрямом використання ПК в проектуванні є автоматизація конструкторських графічних робіт. Вона стала можливою лише останніми роками і пов'язана значною мірою з успіхами в створенні різноманітних електронних і електронномеханічних пристроїв відображення графічної інформації.

Автоматизація конструювання вимагає, щоб був проведений попередній аналіз існуючих конструкцій деталей і вузлів з урахуванням можливої уніфікації і виділені найбільш стабільні, рідко змінні конструкції. Креслення їх доцільно виконувати з використанням креслярських графічних пакетів, оскільки для модернізації конструкцій не потрібна переробка програм.

В даний час конструювання є процес, в значній мірі заснований на досвіді і інтуїції конструктора, тому при рішенні конструкторських задач застосовується діалоговий режим роботи на ПК, при якому в наперед передбачених місцях програма зупиняється і чекає вказівки від людини.

Подальшим розвитком автоматизації проектування є об'єднання технічних засобів і математичних методів і програм в єдину систему автоматизовано-

го проектування (САПР), що дозволяє перейти від окремих розрахунків до комплексної автоматизації проектування.

Застосування ПК для графічних конструкторських робіт є ще одним істотним досягненням у області проектування, що дозволяє прискорити розробку і підняти якість проектування.

## Список літератури

1. Компьютерные чертежно-графические системы для разработки конструкторской и технологической документации в машиностроении: Учеб. пособие для нач. проф. образования / А.В. Быков, В.Н. Гаврилов, Л.М. Рижикова и др. – М.: Изд. центр «Академия», 2002. – 224 с.
2. Єфремов І.С., Косарев Г.В. Теорія і розрахунок троллейбусів (електричне обладнання): Учебное пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1981. – 293 с., ил.
3. Курбасов А.С., Седов В.И., Сорин Л.Н. Проектирование тяговых электродвигателей: Уч. пособие для вузов. ж.- д. трансп. / Под ред.. А.С. Курбасова. – М.: Транспорт, 1987. – 536 с.
4. Алексеев А.Е. Тяговые электрические машины и преобразователи: - Л.: «Энергия», 1967. – 432 с.
5. Калиниченко Ю.С., Кузнецов А.І. Тягові електричні машини. Двигуни постійного струму: Навч. посібник. - Харків: ХНАМГ, 2004.-218с.
6. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни “Тягові електричні машини” (для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності 7.092202 – “Електричний транспорт”). Укл.: Калиниченко Ю.С., Кузнецов А.І. – Харків: ХНАМГ, 2004 – 102 с.

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Методичні вказівки до конструкторської частини курсової роботи з дисциплін "Спеціальні електричні машини" (для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання за напрямом 0922 – «Електромеханіка»")

Укладачі: Василь Хомич Далека,  
Олександр Вікторович Кульбашний,  
Юрій Сергійович Калиниченко

Редактор М.З. Аляб'єв  
Коректор З.І. Зайцева

План 2008, поз. 398 М

Підп. до друку 25.01.2008	Формат 60 х 80 1/16	Папір офісний.
Друк на різнографі	Обл.. – вид. арк. 3,5	Умовн. – друк. арк. 3,0
Тираж 200 прим.	Замовл. №	

61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12

Сектор оперативної поліграфії ЦНІТ ХНАМГ

61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12